Magnetische Messungen an Heuslerschen Zinn-Manganbronzen.

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der Doktorwürde

der

Hohen Philosophischen Fakultät der Universität Marburg

vorgelegt von

Alfred Semm
aus Sondershausen

ACAD.
LUGD.BAT.
BIBL.

Mit 16 Figuren und 16 Tabellen.

Marburg i. H.
Chr. Schaaf, Spezialdruckerei für Dissertationen.
1915.

Von der Philosophischen Fakultät der Universität Marburg
als Dissertation angenommen am 2. Juli 1914.

Berichterstatter: Prof. Dr. F. Richarz.

Meinen lieben Eltern.

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41556035_0082

Inhaltsübersicht.

Seite

I. Die zur Untersuchung dienenden Methoden und die dabei benutzten Instrumente . . . . 7—31

A. Die störungsfreie magnetometrische Methode . . 7—26

1. Die magnetometrische Methode im allgemeinen 7—8
2. Das störungsfreie Torsionsmagnetometer nach Kohlrausch und Holborn . . . . . 8—19
   a) Die Wirkungsweise 8
   b) Die Konstruktion unseres Instrumentes . . . . . 9—11
   c) Der äußere Aufbau . . . . . 11—12
   d) Schwierigkeiten beim Einstellen der Dämpfung . . . . 12—13
   e) Die Ablesevorrichtung 13
   f) Die Magnetometerschienen 13
   g) Die magnetisierenden Spulen . . . . . 13—15
   h) Bestimmung der magnetischen Feldstärke in der Magnetisierungsspule . . . . . 15—16
   i) Justierung und Orientierung . . . . . 16—19
      α) Bestimmung der Nord-Süd-Ebene 16
      β) Einstellung auf Astasie . . . . . 16—17
      γ) Justierung der Schienen und Spulen . . . . . 17—18
      δ) Zentrische Einstellung der Hauptnadel . . . . . 18—19
3. Die benutzte Ausführung der magnetometrischen Methode . . . . . 19—20
4. Störungen . . . . . 20—21
5. Die für das störungsfreie Torsionsmagnetometer geltenden Formeln . . . . . 21—23
6. Bestimmung der Konstanten des Magnetometers . . . . . 23—25
7. Kontrollmessungen 25
8. Die selbstentmagnetisierende Wirkung eines magnetisierten Stabes . . . . . 25—26

B. Die Methoden zur Bestimmung der magnetischen Umwandlungspunkte . . . . . 26—29

1. Das Magnetoskop . . . . . 27—28
2. Die ballistische Methode . . . . . 28—29

C. Die Alterungsapparatur . . . . . 29—30

Seite

II. Magnetische Messungen an Heuslerschen Zinn-Manganbronzen . . . . . 31—65

A. Die bisherigen Untersuchungen . . . . . 31—32
1. von Heusler-Haupt . . . . . 31—32
2. von R. S. Williams 32
3. von H. Faßbender 32
4. von A. D. Ross und R. C. Gray 32

B. Heuslers Theorie über den Träger der ferromagnetischen Eigenschaften bei den Aluminium-Manganbronzen; Richarz' Annahme komplexer Molekeln bei langsamer Abkühlung . . . . . 33—34

C. Takes Annahme einer Komplexbildung beim Altern und seine Erklärung der von ihm eingehend untersuchten Alterungs- und Umwandlungserscheinungen bei den Aluminium-Manganbronzen unter Mitbenutzung der Heuslerschen und der Richarzschen Hypothese . . . . . 34—38

D. Erklärung vom elektronentheoretischen Standpunkt aus . . . . . 38—40
1. nach F. Richarz . . . . . 38—39
2. nach E. Take . . . . . 39—40

E. Heuslers Theorie über den Träger der ferromagnetischen Eigenschaften bei den Zinn-Manganbronzen . . . . . 40—42

F. Ausführung der Messungen an den Zinn-Manganbronzen und ihre Ergebnisse . . . . . 42—64
1. Tabellarische Zusammenstellung der Alterungsversuche . . . . . 42—53
2. Die Abhängigkeit der Magnetisierung von der chemischen Zusammensetzung . . . . . 54—58
3. Die physikalischen Erscheinungen . . . . . 58—64
a) Bestimmung der Umwandlungspunkte . . . . . 58—59
b) Alterungserscheinungen . . . . . 60—62
α) Vorversuche 60
β) Hauptversuche . . . . . 60—62
c) Die maximale Koerzitivkraft . . . . . 62—63
d) Vergleichsalterung bei 80° 63
e) Versuche bei langsamem Abkühlen in Äther-Kohlensäure 63—64

G. Zusammenfassung der Ergebnisse . . . . . 64—65

I.

Die zur Untersuchung dienenden Methoden und die dabei benutzten Instrumente.

A. Die störungsfreie magnetometrische Methode.

1. Die magnetometrische Methode im allgemeinen.

Zur Bestimmung der Magnetisierungsintensität von ferromagnetisierbarem Material dient die ballistische und die magnetometrische Methode. Zur vorliegenden Arbeit wurde die letztere benutzt. Bei dieser wird das zu untersuchende Material im homogenen Magnetfeld einer Spule stetig magnetisiert, und die Ablenkungen, die eine leicht bewegliche Magnetnadel dadurch erfährt, werden gemessen. Um die magnetische Wirkung der Spule selbst aufzuheben, befindet sich auf der anderen Seite der Magnetnadel eine möglichst symmetrisch gestaltete Spule, die von demselben Strom wie die Magnetisierungsspule in entgegengesetzter Richtung durchflossen wird. Diese zweite Spule, die sogenannte Kompensationsspule, wird nun vor Beginn der eigentlichen Messung so eingestellt, daß die Magnetnadel keinen Ausschlag mehr zeigt, wenn der Strom in den Spulen auf die maximale Stromstärke gebracht ist, die bei der Messung zur Verwendung kommen soll. Ist die Kompensation für die Nullage erreicht, so bleibt sie nicht für jede beliebige Ablenkung erhalten[1]). Diesen Kompensationsfehler, der nur einige Skalenteile beträgt, ermittelt man dadurch, daß man die

---

1) Vergl. Über die ferromagnetischen Eigenschaften von Legierungen unmagnetischer Metalle von Fr. Heusler und — unter Mitwirkung von F. Richarz — von W. Starck und E. Haupt. Schrift. der Ges. z. Bef. d. ges. Naturw. zu Marburg, Abtlg. 5, Bd. **13**, S. 288, 1904.

Nadel um beliebige Winkel mit einer stromdurchflossenen Spule oder einem permanenten Magneten ablenkt und dann für die verschiedenen Stellungen der Magnetnadel die jeweilige Ablenkung bestimmt, die vom Magnetisierungsstrom hervorgerufen wird.

Bei der Orientierung des Magnetometers unterscheidet man zwei Hauptlagen. Befinden sich die magnetisierenden Spulen gegenüber dem Ablenkungsmagnetchen in der Ost-Westrichtung, so spricht man von der ersten Gaußschen Hauptlage; hierbei ist der Ausschlag doppelt so groß wie bei der zweiten Hauptlage, in der die Spulen nord-südlich angeordnet sind.

Bisher war im Marburger Physikalischen Institut ein Edelmannsches Magnetometer im Gebrauch. Die Richtkraft der Nadel rührt hier vom Erdfeld her. Jedoch elektromagnetische Störungen, besonders nach dem Bau einer städtischen elektrischen Zentrale und einer elektrischen Straßenbahn, waren zu groß, um mit diesem Instrument weiterhin genaue Messungen ausführen zu können. Es ist deshalb das alte Magnetometer durch ein störungsfreies Torsionsmagnetometer ersetzt worden, wie es Kohlrausch und Holborn[1]) angegeben haben.

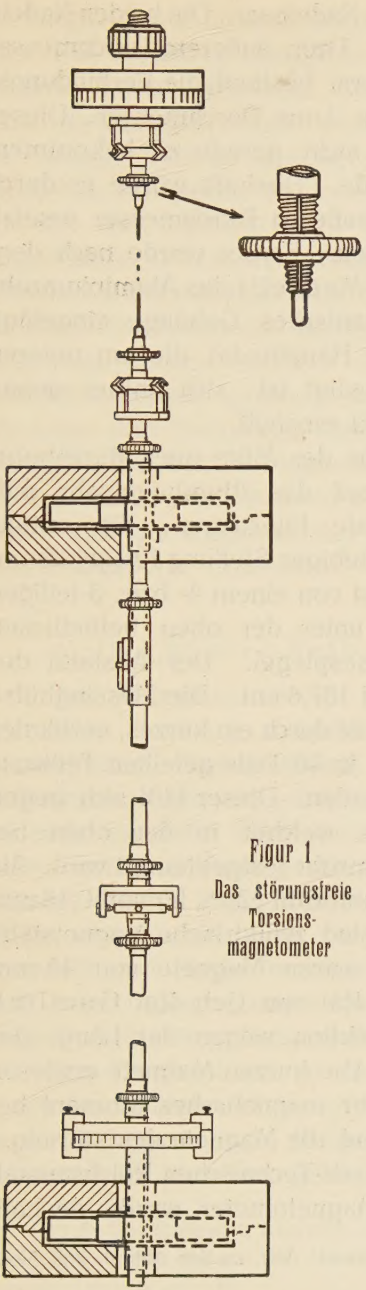
2. Das störungsfreie Magnetometer nach Kohlrausch und Holborn.

a) Die Wirkungsweise.

Das Instrument soll von äußeren Störungen unabhängig sein, es muß deshalb aus einem astatischen Nadelpaar bestehen. Nur die eine der beiden Nadeln, die Hauptnadel, soll von dem zu untersuchenden, ablenkenden Körper beeinflußt werden. Die Einwirkung desselben auf die andere Nadel, die Hilfsnadel, soll so gering sein, daß sie als Korrektion betrachtet werden kann. Dazu muß sich die Hilfsnadel in größerer Entfernung befinden. Andererseits dürfen die beiden Nadeln nicht zu weit voneinander entfernt sein, damit die äußeren elektromagnetischen Störungen beide Nadeln noch in gleicher Weise treffen. Die nötige Direktionskraft wird dem Nadelpaar durch den Aufhängefaden gegeben.

---

1) F. Kohlrausch u. L. Holborn, Annalen d. Physik (4) Bd. **10**, S. 287, 1903.



Figur 1
Das störungsfreie Torsions-magnetometer

b) Die Konstruktion unseres Instrumentes.

Der Konstruktion unseres Instrumentes wurden die oben angeführten Angaben von Kohlrausch und Holborn, sowie briefliche Mitteilungen von Geheimrat Prof. Gumlich-Charlottenburg zugrunde gelegt, dem auch an dieser Stelle für seine liebenswürdige Auskunft der herzlichste Dank ausgesprochen werden soll. Wie jedoch die näheren Erläuterungen zeigen werden, sind in verschiedenen Punkten von den erwähnten Angaben Abänderungen vorgenommen worden. Die Konstruktion unseres Torsionsmagnetometers[1]) ist folgendermaßen ausgeführt: (Vergl. Figur 1.) An einem in 100 Teile geteilten Torsionskopf befindet sich ein Doppel-Y-Träger, der sich in der Höhe um einige Zentimeter verstellen läßt. In diesen Träger paßt eine Doppelschneide, an welcher der Aufhängefaden befestigt ist. Wie in der Figur ersichtlich, hängt dann an dem Aufhängefaden, wieder mittels Doppelschneide

1) Das Magnetometer wurde zum weitaus größten Teil vom verstorbenen Universitätsmechaniker P. Rinck-Marburg gebaut; nach dessen Tod wurden die noch ausstehenden Arbeiten vom Präzisionsmechaniker Ludwig Schmittgall-Gießen (Neuenweg 18) ausgeführt.

und Doppel-Y-Träger, das astatische Nadelpaar. Die beiden Nadeln sind durch ein Aluminiumrohr von 3 mm äußerem Durchmesser starr miteinander verbunden. Zuerst bestand die Verbindungsstange aus einem Messingstab von 3 mm Durchmesser. Dieser war jedoch mit hiesigen Mitteln nicht gerade zu bekommen. Stets „schlug" er am unteren Ende. Deshalb wurde er durch ein Aluminiumrohr vom gleichen äußeren Durchmesser ersetzt. Dieses ließ sich viel leichter richten. Ferner wurde nach dem Beispiel von Richarz und Krigar-Menzel[1]) das Aluminiumrohr in der Mitte geteilt und ein kardanisches Gehänge eingefügt. Hierdurch wurde erreicht, daß die Hauptnadel, die am unteren Ende der Verbindungsstange befestigt ist, sich immer genau senkrecht unter den Aufhängepunkt einstellt.

Die Magnetnadeln, welche in der Mitte quer durchbohrt sind, werden in Messinghülsen auf das Aluminiumrohr aufgesteckt. Letztere haben vertikale Führungen, die mittels konischer Schraubengewinde in beliebiger Stellung festgeklemmt werden können. Jede der Nadeln ist von einem 4- bzw. 3-teiligen Kupferdämpfer umgeben. Dicht unter der oben befindlichen Hilfsnadel befindet sich der Ablesespiegel. Der Abstand der beiden Nadeln voneinander beträgt 187,6 cm. Die Messinghülse der unteren Nadel, der Hauptnadel, ist durch ein kurzes, vertikales Röhrchen mit einem horizontalen, in 40 Teile geteilten Teilkreis von 25 mm Durchmesser fest verbunden. Dieser läßt sich gegen einen Alhidadenkreis verschieben, welcher in der oben beschriebenen Weise an das Aluminiumrohr festgeklemmt wird. Als Aufhängedraht dient ein Platiniridiumdraht (20% Ir) von 0,18 mm Durchmesser. Die Magnetnadeln sind zylindrische Magnetstäbe von 7 mm Durchmesser. Zuerst waren Magnete von 40 mm Länge eingesetzt. Sie waren auf Rat von Geh.-Rat Gumlich so kurz gewählt, damit die Korrektion wegen der Länge der Magnetnadel recht klein ausfiele. Die kurzen Magnete erwiesen sich jedoch als viel zu schwach, ihr magnetisches Moment betrug nur ca. 100 abs. Einh., während die Magnete des störungsfreien Magnetometers der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt ca. 400 abs. Einh. hatten. Das Magnetometer wurde deshalb

1) F. Richarz und O. Krigar-Menzel, Anh. zu den Abh. d. kgl. Akad. d. Wiss. Berlin, S. 23—24, 1898.

für Magnete von 55 mm Länge umgeändert. Die Magnete sind nach dem Verfahren von Strouhal und Barus magnetisiert. Da es sehr darauf ankommt, daß die beiden Magnetnadeln möglichst gleich stark sind, wurden von 10 Böhlerstahlmagneten die beiden besten herausgesucht. Sie wurden längere Zeit daraufhin untersucht, inwieweit sich ihr magnetisches Moment mit der Zeit änderte. Zu dieser Untersuchung wurden die magnetischen Momente auf ballistische Weise bestimmt[1]). Durch schnelles Herausziehen der Magnete aus einer langen Spule entstand ein Stromstoß, der in einem ballistischen Galvanometer gemessen werden konnte. Die Bestimmung des ballistischen Reduktionsfaktors geschah mit Hilfe einer Selbstinduktionsnormalen von Siemens & Halske[2]). Als sich die magnetischen Momente der beiden Magnetnadeln praktisch konstant zeigten, wurden sie in das Magnetometer eingesetzt. Zum Schluß ergaben sich die magnetischen Momente zu 252,8 bzw. 251,4 abs. Einh., sodaß ihr Unterschied 0,5% betrug.

c) Der äußere Aufbau des Magnetometers.

Das Instrument ist im Erdgeschoß im südöstlichen Teil des alten Instituts aufgebaut. Befestigt ist es an einer quadratischen Backsteinsäule von ca. 4 m Höhe und 38 cm Seitenkante. Obwohl diese bereits $1^1/_2$ Jahre stand, setzte sie sich im Juni 1913 derart, daß eine Neueinstellung des Instrumentes notwendig wurde. Daraufhin wurden sämtliche Stützen, die das Magnetometer tragen, verstellbar gemacht. Die Säule wurde bis zum Schluß vorliegender Arbeit mittels Theodolit und Skala beobachtet, aber nur in den ersten Wochen nach jener unangenehmen Entdeckung konnte eine weitere geringe Verschiebung festgestellt werden.

Der Torsionskopf ist oben an der Säule auf einer Stütze in der horizontalen Ebene verstellbar, von 3 Schrauben wird er in der richtigen Lage festgehalten. Der Kupferdämpfer der Hilfsnadel ist an einer gleichen Stütze befestigt. Dagegen wird

1) F. Kohlrausch, Lehrbuch der praktischen Physik 12. Aufl. S. 527, 1914.

2) Vergl. K. Ihde, Diss. Marburg 1912, S. 28, 29 und W. Lepke, Diss Marburg, 1913, S. 29—31.

der Kupferdämpfer der Hauptnadel von einem Dreifuß getragen, der auf einer 35 mm starken Schieferplatte steht. Am Dreifuß ist ferner noch ein längs geteiltes Messingrohr angebracht, welches das ganze astatische System gegen Luftzug schützen soll. Auch der Aufhängedraht ist in ähnlicher Weise geschützt. Unter der Schieferplatte befindet sich noch ein Platz für eine Flüssigkeitsdämpfung.

d) Schwierigkeiten beim Einstellen der Dämpfung.

Da die Kupferdämpfer in ihrer Wirkung nicht ausreichten, wurde im Anfang noch eine Flüssigkeitsdämpfung angebracht. Als Flüssigkeit diente hierbei ein Gemisch von Wasser und Glyzerin zu etwa gleichen Teilen. Eine Glimmerplatte war an dem verlängerten Aluminiumrohr als Dämpfungsflügel angebracht. Bei der zuerst benutzten Schale standen die Enden des Dämpfungsflügels nur wenige Zentimeter vom Rande ab. Es war nun sehr schwer, das Aluminiumrohr, welches die Glimmerplatte trug, genau zentrisch in der Schale einzustellen, zumal hier die Dämpfungsschale sich in einer Versenkung im Fußboden befand. Durch Kapillarkräfte wurde der Dämpfungsflügel stets nach einer Seite hingezogen, so daß die Hauptnadel nicht mehr zentrisch in ihrem Kupferdämpfer stand. Bei einer Schale von 35 cm Durchmesser waren die erwähnten Störungen nicht mehr bemerkbar.

Späterhin wurde beobachtet, daß beim Ablenken des Nadelpaares der Ausschlag sich nur langsam einem Grenzwert näherte und das Magnetsystem erst nach ca. 15 Minuten in Ruhe war. Andererseits kehrte es auch nach einer Ablenkung nur sehr langsam wieder in die Nullage zurück. Gerade hierbei zeigte sich, daß dieses „Kriechen“ von der Dauer und von der Größe der Ablenkung abhängig war. Alles dieses schien auf elastische Nachwirkung des Aufhängefadens hinzudeuten. Doch zeigten weitere Versuche, daß das Kriechen des Nadelpaares fast ausschließlich auf die Flüssigkeitsdämpfung zurückzuführen war. Es wurde deshalb die Flüssigkeitsdämpfung entfernt. Um nun ohne diese trotzdem genügende Dämpfung

zu erreichen, wurden die Kupferdämpfer nachgedreht, so daß jetzt die Kupferbacken der Dämpfer nur noch ca. 1 mm auf jeder Seite von der Magnetnadel entfernt sind. Nach dieser Änderung betrug das Dämpfungsverhältnis 3,3. Bei Ablenkungen von einigen 100 Skalenteilen kann der Ausschlag nach 45 bis 60 Sekunden als konstant angesehen werden.

e) Die Ablesevorrichtung.

Die Ablesung der Ausschläge erfolgte nach der Poggendorffschen Methode mittels Spiegel und Millimeter-Skala, deren gegenseitige Entfernung $6^1/_2$ m betrug. Um bei diesem großen Abstand noch Zehntelmillimeter schätzen zu können, mußte ein stark vergrößerndes Fernrohr angewandt werden. Zu diesem Zwecke wurde ein vorhandenes Fernrohr nach Art der Teleobjektive[1]) umgebaut, so daß es jetzt eine ca. 70fache Vergrößerung zeigt. Das Fernrohr steht erschütterungsfrei auf einer Steinsäule.

f) Die Magnetometerschienen.

Das Magnetometer ist für die erste Gaußsche Hauptlage eingerichtet. Es befinden sich deshalb in der Ostwestrichtung von der Hauptnadel Laufschienen von 1,50 m Länge, auf denen die Spulen verschoben werden können. Die Schienen tragen eine eingravierte Millimeterteilung. Sie sind befestigt auf je einem starken, brückenähnlichen Gerüst aus eisenfreiem Messingguß. Jedes Gerüst kann noch zur genaueren Einstellung in die Ostwestrichtung um $2^1/_2{}^0$ nach Norden oder Süden verschoben werden. Damit die beiden Gerüste bequem um gleiche Winkel gedreht werden können, ist an ihrem Ende eine Millimeterskala angebracht, gegen die das Gerüst mit einem Index verschoben werden kann.

g) Die magnetisierenden Spulen.

Auf gute Konstruktion der Magnetisierungsspulen wurde großer Wert gelegt. Besonders wurde darauf geachtet, daß die

1) Vergl. Winkelmann, Handbuch der Physik Bd. 6, S. 313, 1906.

benutzten Materialien möglichst eisenfrei waren[1]). Über die Konstruktion der Spulen im einzelnen sei folgendes gesagt:

Auf 60 cm lange Röhren aus elektrolytischem Kupfer von 2 mm innerem Durchmesser sind 12 Lagen doppelt mit Seide umsponnenen elektrolytischen Kupferdrahtes von 2 mm Durchmesser gewickelt. Die Windungszahlen jeder Spule sind in folgender Tabelle zusammengestellt:

Tabelle 1.

	Spule 1 Magnetisierungsspule		Spule 2 Kompensationsspule	
Lage	Anzahl der Windungen	Durchmesser der Lage	Anzahl der Windungen	Durchmesser der Lage
1	188	16,9 mm	184	16,9 mm
2	188	20,9	187	21,4
3	187	24,9	188	24,9
4	188	28,9	188	28,6
5	188	32,4	188	32,4
6	188	36,4	189	36,4
7	188	40,4	188	40,4
8	188	44,1	189	44,2
9	188	47,4	189	48,1
10	188	51,4	189	52,2
11	188	55,7	187	55,9
12	188	59,9	189	60,4
Gesamtwindungszahl	2255		2255	
Windungszahl pro cm:	$n = 56{,}37$		56,37	
Mittlerer Windungsradius	$r = 1{,}91$ cm		1,92 cm	
Länge der Spule	40 cm		40 cm	

Die Endscheiben sind aus gut getrocknetem Holz gearbeitet. Sie liegen auf Lagern aus 2 mm starkem Kupferblech. Durch Zug- und Druckschrauben können die Spulen in der Horizontalen

1) Über den Einfluß von Eisenverunreinigungen vergl. E. Haupt a. a. O. S. 257 u. 263 Tab. 1, sowie W. Lepke, a. a. O. S. 61.

und Vertikalen verstellt werden. Der eine Schlitten trägt Mikrometerbewegung zur besseren Einstellung auf Kompensation. Die Magnetisierungsproben werden auf einer „Rinne", einem längs halbierten Rohr aus elektrolytischem Kupfer, die genau in die Spulenröhre paßt, eingeführt. Mittels besonderer „Blenden" Schablonen mit Aussparungen, die in Nuten in die Rinne eingesetzt werden können, wird die Achse der Probe in die Spulenachse gebracht. Die Magnetisierungsprobe muß aber außerdem noch genau symmetrisch zu den Spulenenden orientiert werden. Dazu wird diese mittels eines Tiefenmaßstabes aus Messing mit etwas Paraffin auf der Rinne in der richtigen Lage und Entfernung befestigt. Die Rinne wird immer bis zu einem besonderen Anschlag in die Spulenröhre geschoben. Um eine Temperaturzunahme beim Magnetisieren zu vermeiden, ist auf Veranlassung von Herrn Dr. Take auch innere Wasserkühlung der Spulen eingerichtet. Ohne diese Kühlung wurde nämlich bei starken Magnetisierungsströmen eine Temperatur bis zu 80° C im Inneren der Spulenröhre gemessen. Dieses Erwärmen würde in den meisten Fällen bei Untersuchung der Heuslerschen Bronzen wohl eine ganz enorme Änderung im magnetischen Verhalten der Proben zur Folge haben. Bei meinen sämtlichen Messungen befanden sich die Proben in dem Kühlwasser.

h) Bestimmung der magnetischen Feldstärke aus der Stromstärke bei der Magnetisierungsspule.

Es sei n die Windungszahl pro cm, r der mittlere Windungsradius, $2l$ die Länge der Spule, a der Abstand eines Achsenpunktes von der Spulenmitte, dann bestimmt sich[1]) für einen Achsenpunkt in der Entfernung a von der Spulenmitte die magnetische Feldstärke aus

$$\mathfrak{H}_e = 2\pi n i \left[\frac{l-a}{\sqrt{r^2+(l-a)^2}} - \frac{l+a}{\sqrt{r^2+(l+a)^2}}\right]$$

In der Mitte der Spule ($a = 0$) ist somit:

$$\mathfrak{H}_e^m = 4\pi n i \frac{l}{\sqrt{r^2+l^2}}$$

1) Vergl. E. Haupt, a. a. O. S. 279 ff.

Der längste zu messende Stab war nicht größer als 10 cm, also $a = 5$. Dann ergibt sich die Inhomogenität $(\mathfrak{H}_e^m - \mathfrak{H}_e^{a=5})$ aus:

$$\begin{aligned} \mathfrak{H}_e^m &= 2\pi n i \cdot 1{,}9910 \\ \mathfrak{H}_e^{a=5} &= 2\pi n i \cdot 1{,}9891 \\ \text{Inhomogenität} &= 2\pi n i \cdot 0.0019 \text{ also } 0{,}095\,\%. \end{aligned}$$

Die mittlere externe Feldstärke im Bereiche des Stabes wird dargestellt durch die Formel:

$$\overline{\mathfrak{H}}_e^{-a \text{ bis } +a} = \frac{2\pi n i}{a}\left[\sqrt{r^2 + (l+a)^2} - \sqrt{r^2 + (l-a)^2}\right]$$

Die Berechnung ergibt

$$\begin{aligned} \overline{\mathfrak{H}}_e^{-a \text{ bis } +a}_{a=5} &= 4\pi n i \cdot 0{,}9952 \ [CGS] \\ &= 70{,}50 \cdot i \text{ (Amp.)} \ [CGS] \end{aligned}$$

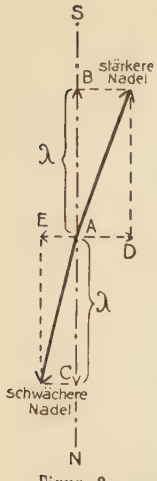
i) Justierung und Orientierung des Magnetometers.

α) Bestimmung der Nord-Süd-Ebene.

Bei dem Torsionsmagnetometer ist die Richtkraft nur durch den Aufhängefaden bedingt. Das astatische Nadelpaar bleibt daher in jeder Lage, die ihm durch die Aufhängung erteilt wird, in Ruhe. Wie bei einem gewöhnlichen Magnetometer, sollen auch beim Torsionsmagnetometer die Magnetnadeln nord-südlich orientiert sein. Zur Bestimmung des magnetischen Meridians wurde deshalb ein gleich großer Magnet an einem langen ungedrehten Seidenfaden torsionsfrei zentrisch im unteren Kupferdämpfer aufgehängt und die nördliche Stellung markiert.

β) Einstellung auf Astasie.

Wenn man ein Nadelpaar auf Astasie einstellen will, muß man zunächst berücksichtigen, daß zwei Nadeln wohl nie genau gleiches magnetisches Moment haben. Befinden sie sich in entgegengesetzter Richtung, so ist doch noch eine gewisse Richtkraft vom Erdfeld her vorhanden. Verändert man aber das Azimut der beiden Nadeln ein wenig, so kann man es zwar erreichen, daß die Projektionen der magnetischen Momente auf den magnetischen Meridian ($AB = AC$, vergl. Fig. 2) sich aufheben, allerdings bleibt dann noch eine kleine Differenz zwischen



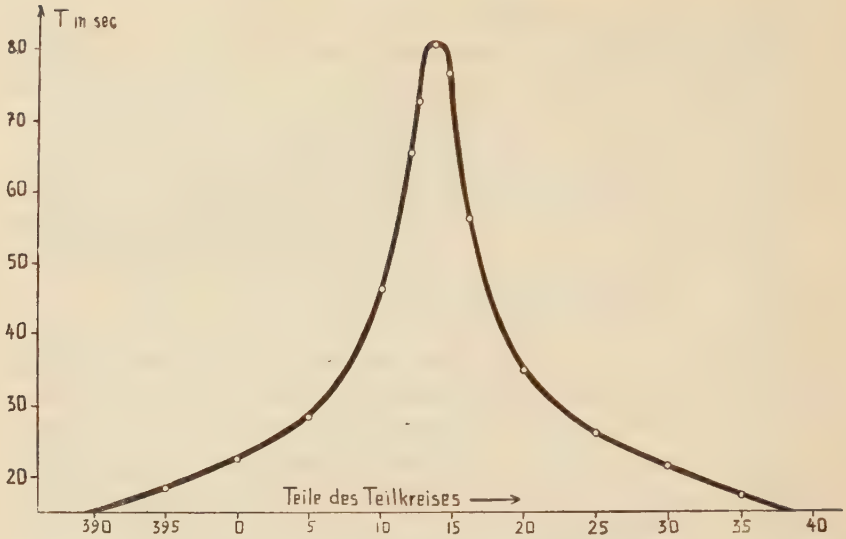
Figur 2.

den Projektionen der magnetischen Momente auf eine Ebene senkrecht zum Meridian ($AD - AE$) bestehen. Diese muß nun so klein sein, daß sie gegen die Direktionskraft des Aufhängefadens verschwindet, da anderenfalls das ganze magnetische System in die Ost-Westlage umgeworfen würde. Diese Verhältnisse soll nebenstehende Figur erläutern, in der die magnetischen Momente als Vektoren eingezeichnet sind.

Bei der praktischen Ausführung eines astatischen Nadelsystems muß man also darauf sehen, daß die magnetischen Momente beider Nadeln möglichst nahe einander gleich sind. Im übrigen stellt man auf Astasie in der Weise ein, daß man das Azimut der beiden Nadeln so lange ändert, bis die Schwingungsdauer des Nadelpaares ein Maximum erreicht hat. Um letztere Versuche auszuführen, wurde das Magnetsystem an einem dünnen Bronzeband ($0{,}17 \times 0{,}009$ mm, bezogen von Hartmann & Braun Frankfurt a. M.), später an einem Lamettafaden aufgehängt, der sich hierfür ebenso gut eignete und in Marburg leichter zu beschaffen war, die Dämpfung entfernt und die Schwingungsdauer des Systems bei den verschiedenen Stellungen des Teilkreises bestimmt. Der zu den späteren Messungen vorgesehene Platiniridiumdraht konnte zu diesen Einstellungen nicht benutzt werden, da er infolge seiner großen Torsionskraft eine viel zu kurze und schwer meßbare Schwingungsdauer des Nadelpaares verursacht hätte. Hing also das Magnetsystem an dem dünnen Bronzeband, so war es bei der längsten Schwingungsdauer am besten auf Astasie eingestellt. In Figur 3 (S. 16) zeigt das deutlich ausgeprägte Maximum die günstigste Stellung der beiden Magnete zueinander.

γ) Justierung der Schienen und Spulen.

Wie schon erwähnt, sollte für das Magnetometer die erste Hauptlage benutzt werden. Die Schienen, auf denen die Spulen verschoben werden können, befinden sich also in der Ost-West-Richtung. Um diese genau zu finden, wurden die Schienen so



Figur 3.

Die Schwingungsdauer des Magnetsystems als Funktion des Azimuts der beiden Magnetnadeln.

lange gedreht, bis der Ausschlag, den ein in der Magnetisierungsspule befindlicher Eisenstab beim Magnetisieren hervorbrachte, seiner absoluten Größe nach erhalten blieb, wenn der Magnetisierungsstrom kommutiert wurde. Die Spulenachsen sollen nun in eine gerade Linie fallen, die auch durch die Mitte der Hauptnadel geht. Um dies zu erreichen, war in jedes Spulenrohrende ein Stück eines Messingstabes eingepaßt, das in der Mitte ein feines Loch trug. Zur genauen Einstellung wurde dann ein dünner Faden durch die Spulenachsen und die eingepaßten Messingstücke eingespannt und die Spulen mit Hilfe der beschriebenen Zug- und Druckschrauben in die richtige Stellung gebracht.

δ) Zentrische Einstellung der Hauptnadel.

Besonders schwierig und zeitraubend war es, die Hauptnadel genau zentrisch im unteren Kupferdämpfer einzustellen. Und doch ist dies sehr wichtig. Die Mitte der Hauptnadel muß sich genau in der Instrumentenachse befinden, da von hier aus

der Abstand bis zur Spulenmitte gerechnet wird und dieser in der Formel in der dritten Potenz vorkommt. Zur Einstellung wurde daher der Torsionskopf so lange verschoben, bis das Aluminiumrohr, welches die Hauptnadel trägt, genau durch die Mitte des Kupferdämpfers ging.

3. Die benutzte Ausführung der magnetometrischen Methode.

Der zum Magnetisieren notwendige Strom wird von der Institutsbatterie geliefert. Zur kontinuierlichen Veränderung der Stromstärke dienen 5 Flüssigkeitswiderstände, die mit Kupfervitriol von verschiedener Konzentration gefüllt sind. Jeder Flüssigkeitswiderstand kann durch einen Quecksilberkontakt kurz geschlossen werden. Dies ist nötig, da die Flüssigkeitswiderstände immer noch einen gewissen Widerstand zeigen und besonders bei größeren Strömen zu starken Intensitätsschwankungen Anlaß geben, auch wenn der bewegliche Stempel die untere feste Platte des Flüssigkeitswiderstandes berührt. Ferner ist noch zur weiteren Regulierung der Stromstärke ein großer Rahmenwiderstand und ein fast kontinuierlich verstellbarer Widerstand in den Stromkreis eingeschaltet. Zum Aus- und Umschalten ist ein Handkommutator angebracht. Dieser eignet sich aber zum Entmagnetisieren der Versuchsproben sehr wenig. Dazu dient vielmehr ein rotierender Kommutator, der von einem kleinen Elektromotor in Rotation versetzt wird. Der letztgenannte Kommutator hat den Zweck, jede Probe durch „abnehmendes Kommutieren“ in den magnetisch jungfräulichen Zustand zu bringen. Hierbei muß der entmagnetisierende Strom anfänglich größer sein als der maximale Strom, der vorher bei der Messung angewandt wurde. Das Prinzip des benutzten Kommutators[1]) ist etwa folgendes: Die beiden Leitungen des Stromes gelangen durch zwei Schleiffedern zu zwei Ringen, die auf der Achse des rotierenden Teiles befestigt sind. Jeder Ring ist mit je einer Hälfte eines längs geteilten Messingrohres verbunden, welche ihrerseits voneinander isoliert sind. Von diesem Messingrohr

1) Der rotierende Kommutator ist vom Institutsmechaniker Herrn Paul Görs konstruiert worden.

wird mit Kupferdrahtbürsten der kommutierte Gleichstrom abgenommen. Es soll nun aber, wie bereits erwähnt, der entmagnetisierende Strom noch etwas stärker sein als die größte bei der Messung angewandte Stromstärke, die bei meinen Versuchen 14,2 Amp. betrug. Diese hohe Stromstärke bedingte aber beim Stromwechsel Öffnungsfunken, welche die Isolation bald verbrannten. Um dies zu vermeiden, wurde zu jeder der beiden Kupferdrahtbürsten ein Nebenschluß gelegt. Zu diesem Zwecke wurden die Messingrohrhälften nach beiden Seiten verlängert, zur Isolation wurde hier ein 1—2 cm breiter Luftschlitz freigelassen. Auf den verlängerten Messingrohrhälften liegen schleifend, parallel zu jeder der beiden Kupferdrahtbürsten, 2 Kohlebürsten mit großer Fläche auf, die etwas später als die ersteren von der Rohrhälfte abschnappen. Bewegt sich dann der Kommutator, so springen jetzt die Öffnungsfunken zwischen Kohle und Messing über, ohne nennenswerte Beschädigung anzurichten. Die Kohlebürsten lassen sich leicht auswechseln.

Widerstände, Kommutatoren und Schalter sind an der dem Magnetometer gegenüberliegenden Wand in einem Abstand von 6—7 m angebracht, um keinen Einfluß auf das Instrument auszuüben. Mit Schnurleitungen können sie vom Beobachtungsplatz aus bequem geschaltet werden. Die Stromstärke wurde an einem Ruhstrat-Präzisions-Amperemeter mit 4 Meßbereichen abgelesen.

4. Störungen.

Die vorhandenen Störungen sind wohl fast ganz auf Temperatureinflüsse zurückzuführen. Es wurde aber von vornherein darauf geachtet, daß benachbarte Eisenmassen durch Temperaturschwankungen nicht etwa störend wirken könnten. Sie wurden, soweit irgend möglich, beseitigt. Das ca. 150 cbm fassende Zimmer wurde mit einem Kachelofen geheizt, dessen eiserne Ofentüren durch solche von Messing ersetzt wurden. Trotzdem waren die Störungen teilweise noch stark. Sie hatten sicher der Hauptsache nach wohl darin ihren Grund, daß die elastischen Torsionskräfte des Aufhängefadens sich mit der Temperatur änderten. Bei dem Torsionsmagnetometer ist aber

die Konstante des Instrumentes direkt von der Direktionskraft des Aufhängefadens abhängig. Es wurden deshalb die Messungen, die ja leider in der kältesten Jahreszeit stattfanden, soweit es sich ermöglichen ließ, bei kürzlich erkaltetem Ofen zur Nachtzeit vorgenommen. Nur bei den Anfangsmessungen mußte bereits des Nachmittags begonnen werden. Die Zimmertemperatur schwankte zwischen 8° und 15° C. Während des Heizens wanderte der Nullpunkt stets um 20 bis 30 Skalenteile. Oft mußte vor einer Messung lange gewartet werden, bis der Nullpunkt konstant blieb. Auch die Kompensation wurde durch die Temperatur etwas beeinflußt. Bei steigender Temperatur mußte die Kompensationsspule weiter von der Hauptnadel entfernt werden. In der Zeit von November 1913 bis Februar 1914 hat sich die Nullage um ca. 40 Skalenteile verschoben.

5. Die für das Torsionsmagnetometer geltenden Formeln[1]).

Ein Magnet vom Moment $\mathfrak{M}$ bringt in erster Hauptlage am Orte der Hauptnadel ein ablenkendes Feld $\mathfrak{F}$ hervor, das gegeben ist durch:

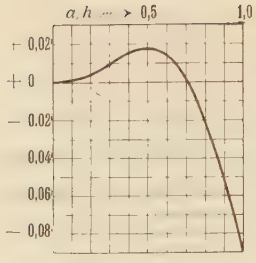
$$(1) \qquad \mathfrak{F} = 2\frac{\mathfrak{M}}{a^3}\left[1 + \frac{{}^1/_2 L^2 - {}^3/_4 l^2}{a^2} + \psi(a/h)\right]$$

Hierbei bedeutet a den Abstand von Magnetmitte bis Hauptnadelmitte, L bzw. l den Polabstand des ablenkenden Magneten bzw. der Hauptnadel, h den Vertikalabstand der beiden Nadeln.

$$(2) \qquad \psi(a/h) = \frac{{}^1/_2 (a/h)^3 - (a/h)^5}{[1 + (a/h)^2]^{5/2}}$$

ist die Funktion, die den Einfluß des ablenkenden Feldes auf die Hilfsnadel darstellt. In Figur 4 (S. 20) sieht man zuerst ein allmähliches Ansteigen der Funktion $\psi(a/h)$, bei $a/h = 0{,}5$ erreicht die Kurve ein Maximum, nimmt dann wieder ab und schneidet bei $a/h = 0{,}5$ die Abszissenachse, um rasch weiter zu fallen. Der Wechsel des Vorzeichens der Korrektion erklärt

1) Die genaue Ableitung s. F. Kohlrausch und L. Holborn a. a. O. S. 293 ff.



Figur 4.

Die Korrektionsfunktion ψ in Abhängigkeit von der Variablen a/h.

sich aus der Änderung des Winkels, unter dem die Kraftlinien des ablenkenden Magneten die Hilfsnadel treffen.

Da bei diesem Magnetometer $h = 187{,}6$ cm ist und nur bis zu Abständen von 110 cm gemessen wurde, erreicht die Korrektion $\psi(a/h)$ höchstens den Wert 0,0179.

Die obige Gleichung (1) gilt auch für den Fall, daß das ablenkende Feld durch eine gleichmäßig bewickelte zylindrische Stromspule hervorgerufen wird. Für diese ist ja bekanntlich das äquivalente magnetische Moment

$$\mathfrak{M} = S \cdot i \tag{3}$$

(Gesamtwindungsfläche × Stromstärke). Alle Größen sind hierbei in $[CGS]$ gemessen. Ferner würde für diesen Fall die Größe L der Formel (1) gleich der geometrischen Länge der Spule zu setzen sein. Allerdings muß noch berücksichtigt werden, daß Spulen meist einen beträchtlicheren Durchmesser haben.

Wie F. Kohlrausch gezeigt hat[1]), genügt es in den meisten Fällen, in der Klammer der Gleichung (1) noch hinzuzufügen:

$$+ \frac{9}{10\,a^2}\left(\frac{r_1^5 - r_0^5}{r_1^3 - r_0^3}\right), \tag{4}$$

worin r_0 und r_1 der innere bezw. der äußere Durchmesser der Spule ist.

Für das ablenkende Feld $\mathfrak{F}$ gilt ferner bei kleinen Ablenkungen:

$$\mathfrak{F} = \frac{D}{\mathfrak{M}_1} \cdot a \text{ oder } \mathfrak{F} = C \cdot a \tag{5}$$

D ist die Direktionskraft des Aufhängefadens, $\mathfrak{M}_1$ das magnetische Moment der Hauptnadel des Magnetometers und a der kleine im absoluten Maße gemessene Ausschlag.

$\frac{D}{\mathfrak{M}_1} = C$ ist also nur vom Instrument abhängig, es ist die Konstante des Magnetometers.

1) F. Kohlrausch, Wied. Ann. **18**, S. 517 ff., 1883.

Die Korrektion, die berücksichtigt, daß ein astatisches Nadelpaar im erdmagnetischen Felde beim Ändern seiner Richtung nach Moment und Achsenrichtung variabel ist, wird bei der Konstantenbestimmung miteinbegriffen.

Bei den an diesem Instrument vorgenommenen Messungen wurde stets nach der Magnetisierung $\mathfrak{J}$ gefragt. Diese ist bekanntlich das magnetische Moment der Volumeneinheit, also

$$\mathfrak{J} = \frac{\mathfrak{M}}{v} \tag{6}$$

drückt man noch den Ausschlag a durch Skalenteile (e) und Skalenabstand (A) aus:

$$a = \frac{e}{2A},$$

so erhält man aus den Gleichungen (1), (5) und (6) für die Intensität der Magnetisierung den Ausdruck:

$$\mathfrak{J} = \frac{C \cdot e \cdot a^3}{4 A v \left[1 + \frac{{}^1/_2 L^2 - {}^3/_4 l^2}{a^2} + \psi(a/h)\right]}$$

Diese Formel legte ich meinen Beobachtungen zugrunde.

6. Bestimmung der Konstante C des Magnetometers.

Die oben erwähnte Konstante C wurde empirisch bestimmt. Es wurde ermittelt, welchen Ausschlag a_0 ein bekanntes magnetisches Moment an der Hauptnadel erzeugt. Als ablenkender Körper wurde eine kleine stromdurchflossene Spule benutzt, deren magnetisches Moment ja gegeben ist durch das Produkt von Gesamtwindungsfläche und Stromstärke. Um eine genaue bekannte Windungsfläche zu haben, stellte ich mir eine kleine 70 mm lange Spule her. Diese ist auf ein Rohr von elektrolytischem Kupfer (20 mm Durchmesser) gewickelt und mit innerer Wasserkühlung versehen. Die Gesamtwindungsfläche ließ sich dann aus den Windungszahlen der einzelnen Lagen berechnen, deren Daten in der folgenden Tabelle zusammengestellt sind.

Tabelle 2.

Spule zur Konstantenbestimmung.

Lage	Zahl der Windungen	Φ der Lage in mm	Windungsfläche
1	187	20,4$_4$	613,6
2	186	21,1$_4$	652,8
3	186	21,7$_4$	690,4
4	187	22,4$_6$	739,6
5	183	23,1$_9$	772,9
6	186	23,8$_4$	830,3
7	186	24,4$_4$	872,6
8	186	25,0$_9$	919,6
9	187	25,7$_4$	973,1
10	186	26,4$_4$	1021,2
11	189	27,0$_9$	1089,4
12	188	27,8$_4$	1144,4
13	188	28,5$_4$	1202,7
14	188	28,9$_4$	1236,7

Gesamtwindungszahl 2613

Gesamtwindungsfläche 12759,3 cm^2

innerer Radius $r_0 = 20{,}0_6$ mm

äußerer Radius $r_1 = 29{,}3_0$ mm.

Aus den Gleichungen (1), (3), (4) und (5) bestimmt sich dann C:

$$C = \frac{2\,S \cdot i}{a_0\, a^3}\left[1 + \frac{1}{a^2}\left(\tfrac{1}{2}\,L^2 - \tfrac{3}{4}\,l^2 - \frac{9}{10}\,\frac{r_1^5 - r_0^5}{r_1^3 - r_0^3}\right) + \psi\,(a/h)\right]$$

a ist hier der Abstand von der Hauptnadelmitte bis zur Mitte der kleinen Spule. Die anderen Größen haben ihre Bedeutung beibehalten.

Die ablenkende Spule befand sich für jeden Abstand a einmal östlich, das andere Mal westlich vom Magnetometer. Dabei wurde in jeder Lage die Stromrichtung auch noch kommutiert. Die in der folgenden Tabelle für C angegebenen Werte stellen also schon Mittelwerte dar. Die Stromstärke betrug bei den Abständen $a = 40$—70 cm 0,17 Amp., bei $a = 80$—110 cm 0,70 Amp.

Tabelle 3.

a in cm	C
40	0,26490
50	0,26544
60	0,26581
70	0,26534
80	0,26502
90	0,26535
100	0,26542
110	0,26544
Mittel:	0,26534

Die größte Abweichung vom Mittel beträgt also 0,2%.

7. Kontrollmessungen.

Von früheren Messungen im hiesigen Institut war noch ein Ellipsoid (59 mm große Achse, 2,5 mm kleine Achse) aus sehr homogenem Eisen vorhanden, dessen Kurve der magnetischen Dichte (Bezeichnung des AEF statt: Induktionskurve) von der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt untersucht war. Zur Kontrolle der Richtigkeit und Genauigkeit der magnetometrischen Messungen mittels des neuen Torsionsmagnetometers bestimmte ich die jungfräuliche Kurve sowie Remanenz und Koerzitivkraft dieses Eisenellipsoides. Die gefundenen Werte zeigten gute Übereinstimmung mit den von der Reichsanstalt angegebenen.

8. Die selbstentmagnetisierende Wirkung eines Stabes.

Bei der magnetometrischen Methode wird das zu untersuchende Material in Gestalt eines Kreiszylinders oder besser eines Rotationsellipsoides untersucht. Wird nun z. B. ein Eisenstab mit seiner Längsrichtung in ein homogenes Magnetfeld gebracht, so treten an seinen Enden Pole auf. Diese erzeugen wiederum ein Feld, das im Inneren des Stabes dem ursprünglichen entgegengesetzt gerichtet ist. Die neu entstehenden

Kraftlinien suchen also den Stab zu entmagnetisieren. Die totale oder effektive Feldstärke in der Probe ist dann gegeben durch $\mathfrak{H}_t = \mathfrak{H}_e - \mathfrak{H}_i$. $\mathfrak{H}_e$ ist die externe Feldstärke. Wie sich herausgestellt hat, ist die durch Selbstentmagnetisierung erzeugte Feldstärke $\mathfrak{H}_i$ proportional der Magnetisierung; also

$$\mathfrak{H}_i = N\mathfrak{J}.$$

N heißt der Entmagnetisierungsfaktor. Für ein Rotationsellipsoid ist die Magnetisierung in einem homogenen Magnetfeld ebenfalls homogen. Hierfür ist der Entmagnetisierungsfaktor von F. Neumann berechnet worden. Ihn für kreiszylindrische Stäbe zu berechnen, ist bisher noch nicht gelungen. Dagegen ist er für diese Stäbe experimentell bestimmt worden. Für vorliegende Arbeit wurden die von Chr. R. Mann [1]) angegebenen Werte für Entmagnetisierungsfaktoren kreiszylindrischer Stäbe benutzt. Die von Shuddemagen [2]) angegebenen Werte sind zwar neueren Datums, beziehen sich aber auf ballistische Messungen. Über weitere diesbezügliche Literaturangaben verweise ich auf Preußer [3]).

B. Die Methoden zur Bestimmung der magnetischen Umwandlungspunkte.

Bei der Untersuchung der Heuslerschen Legierungen ist es von allergrößter Wichtigkeit, die Lage und Änderung der magnetischen Umwandlungspunkte, besonders des primären, wie er vor Beginn einer Alterung gefunden wird, zu kennen. Zu deren Bestimmung dienen 2 Methoden: Die ballistische und die magnetoskopische Methode.

---

1) Chr. R. Mann, Inaug.-Dissertation Berlin 1895.

2) C. L. B. Shuddemagen, Proc. of Am. Acad. of arts and sciences, **43**, No. 6 p. 185—256, Sept. 1907.

3) W. Preußer, Inaug.-Dissertation Marburg 1908.

1. Das Magnetoskop.

Das bisher gebrauchte Magnetoskop[1]) konnte verschiedener Mängel halber nicht mehr gebraucht werden. Ich baute mir deshalb ein neues, und zwar versuchte ich zunächst, die beiden Magnetnadeln vertikal aufzuhängen, um so dauernde Astasie zu erreichen, ähnlich wie es Haupt bei seinem speziellen Magnetometer für Eisenuntersuchungen tat[2]).

Als Magnetnadeln wurden je 5 Stahlfederlamellen von 8 mm Breite und 0,2 mm Dicke benutzt, die ich nach dem Verfahren von Strouhal und Barus magnetisierte. Die Stahlfederlamellen besaßen jedoch, selbst nach dem Überzug mit Schellack, zu wenig Festigkeit, sie waren nie in eine Ebene zu bringen. Das Nadelpaar stellte sich infolgedessen immer ostwestlich oder nordsüdlich ein. Da also aus diesem Grunde die beschriebene Anordnung der Magnetnadeln keine Vorteile brachte, wurde das Magnetoskop in der bisher gebräuchlichen Weise gebaut, da auch so das Nadelpaar leichter und damit empfindlicher wurde. Die Verbindungsstange bestand aus Magnalium. Jede der Magnetnadeln hatte ein magnetisches Moment von ca. 134 abs. Einh. Das Nadelpaar befand sich in einem geschlossenen Glaskasten, von dem 3 Seiten doppelwandig zur Wasserkühlung ausgebildet waren, um es vor Luftströmungen und Wärmestrahlen zu schützen[3]). Dicht an der Rückwand des Glaskastens hing das Nadelpaar an einem ca. 75 cm langen Platiniridiumdraht (0,15 mm Durchmesser, 30 % Ir). Bei einer Messung wurde dann der zu untersuchende Körper in dem Erhitzungsgefäß nahe an die Rückwand des Magnetoskopes gestellt.

Die Temperatur der Probe konnte mit einem von der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt geeichten Thermoelement bestimmt und an einem „Pyrometer“ von Siemens & Halske,

1) Vergl. W. Preußer, a. a. O. S. 56, 57. Ferner E. Take, Alterungs- und Umwandlungsstudien an Heuslerschen ferromagnetisierbaren Aluminium-Manganbronzen insbes. an Schmiedeproben. Abhandl. d. Kgl. Ges. d. Wiss. zu Göttingen, Math.-phys. Kl., Neue Folge, Bd. 8, Nr. 2, S. 13, 1911. (Marburger Habilitationsschrift 1911).

2) Vergl. E. Haupt, Elektrotechn. Zeitschrift Heft 44, S. 1069, 1907.

3) Diese Anordnung war schon früher von Herrn Prof. Richarz vorgeschlagen und von Herrn Dr. Take benutzt worden.

einem Präzisions-Zeigergalvanometer mit geeichter Temperaturskala, abgelesen werden. Die Ausschläge des Nadelpaares wurden subjektiv mittels Spiegel und Skala beobachtet. Vor jeder Messung wurde das Nadelpaar durch Drehen des Torsionskopfes der Rückwand mehr oder weniger genähert, um so die günstigste Stellung zu finden. Selbst bei den äußerst schwach magnetisierbaren Proben konnte der magnetische Umwandlungspunkt aus dem Verschwinden der ablenkenden Wirkung einwandfrei bestimmt werden.

Vorliegende Methode ist besonders dann geeignet, wenn man zur Untersuchung nur schwach magnetisierbare Proben oder solche von unregelmäßiger Gestalt hat.

2. Die ballistische Methode.

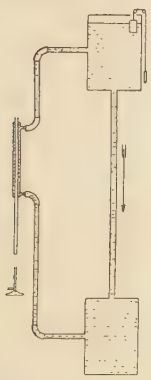
Sind die Proben jedoch stärker magnetisierbar und liegen sie in kreiszylindrischer Stabform vor, so ist die ballistische Methode vorzuziehen. Hierfür baute ich mir einen kleinen elektrischen Induktionsofen, ähnlich dem früher von Herrn Dr. Take benutzten[1]). Auf eine Messingröhre von 17 mm äußerem Durchmesser und 350 mm Länge wurde zunächst dreifach bifilar die Heizspule gewickelt; dann folgten, gut isoliert, 2 Lagen einer Magnetisierungsspule. Durch Kieselguhr und einen Wassermantel gegen Wärmestrahlung und -leitung geschützt, befand sich außen eine kleine Induktionsspule mit ca. 2000 Windungen dünnen Kupferdrahtes. Wurde der Primärstrom in der Magnetisierungsspule kommutiert, so rief der in der Sekundärspule entstehende Stromstoß einen Ausschlag im ballistischen Galvanometer hervor. Die Temperatur wurde auch hier mit Thermoelement und Pyrometer gemessen. Die externe Feldstärke des Magnetfeldes, das die Primärspule hervorrief, betrug bei sämtlichen Versuchen 20,8 Gauß. Mithin gelten auch die sämtlichen ballistisch bestimmten Umwandlungspunkte für eine Feldstärke von 20,8 Gauß, während die magnetoskopisch ermittelten Umwandlungstemperaturen sicherlich einer kleinen

1) E. Take, a. a. O. S. 13.

Feldintensität zugehören, doch dürfte diese geringe Änderung des magnetischen Feldes wohl noch keine nennenswerte Änderung der Umwandlungspunkte zur Folge haben.

C. Die Alterungsapparatur.

Die Heuslerschen Legierungen befinden sich bekanntlich nach dem Guß im allgemeinen im Zustande eines labilen Gleichgewichtes. Um sie in den stark ferromagnetisierbaren stabilen Endzustand überzuführen, müssen sie künstlich gealtert werden. Dies geschieht durch Erhitzen in siedenden Flüssigkeiten. Hierzu verwandte ich im allgemeinen Erhitzungsgefäße aus Messingrohr[1]), die in ihrem oberen Teile ein weiteres koaxiales Rohr als Rückflußkühler tragen. Das Kühlwasser wurde bisher direkt der Wasserleitung entnommen. Wegen des großen Wasserverbrauches (zu Zeiten waren 17 Erhitzungsgefäße im Gebrauch!) habe ich eine Kühlvorrichtung konstruiert, die weniger Wasser verlangte. Dazu wählte ich eine Einrichtung, ähnlich der Thermosyphonkühlung, wie sie im Automobilbau benutzt wird. Die Wirkungsweise geht aus Figur 5 deutlich hervor. Das Kühlwasser erwärmt sich im Rückflußkühler und steigt, da es spezifisch leichter ist, in den oberen Behälter. Im unteren Behälter dagegen hat es genügende Gelegenheit sich abzukühlen. Über die praktische Ausführung sei folgendes gesagt: Als Behälter waren 3 Fässer von je ca. 400 l Inhalt aufgestellt. Das eine stand auf einem Gerüst ungefähr $2^1/_2$ m über dem Fußboden, das zweite zu ebener Erde, während das letzte sich im Keller befand, wo eine mittlere Temperatur von ca. 5° C herrschte. Um das Wasser zu regenerieren, floß dauernd etwas frisches Wasser zu. Im ganzen waren 14 Erhitzungsgefäße aus Messing aufgebaut. Für die Benzolalterung wurden Glaszylinder aus schwer schmelzbarem Glas



Figur 5.
Schema der Kühleinrichtung bei der Alterungsapparatur.

1) Vergl. E. Take, a. a. O. S. 10.

benutzt, die etwas in ein Wasserbad eintauchten, das ständig durch ein Überlaufgefäß oder eine Mariottesche Flasche auf konstanter Wasserhöhe gehalten wurde. Als Rückflußkühler dienten hierbei $^3/_4$ m lange Kugelkühler. Vier von den Erhitzungsgefäßen, die für tiefere Temperaturen gebraucht werden sollten, trugen außerdem noch kleine Rückflußkühler aus Glas. Um ein Durchschlagen der Gasflammen zu vermeiden, war ein Gasdruckregulierapparat in die Gasleitung eingebaut.

Bei meinen Versuchen hat sich die Alterungsapparatur gut bewährt. Es ist keine nennenswerte Störung vorgekommen. Verschiedene Male mußte im Institut die Wasserleitung abgestellt werden. Da aber diese Alterungsapparatur lange Zeit ohne neuen Wasserzufluß auskommt, brauchten die Alterungen nicht unterbrochen zu werden. Gerade hierbei zeigte sich die Überlegenheit der beschriebenen Anordnung gegenüber der vorher gebräuchlichen.

II.

Magnetische Messungen an Heuslerschen Zinn-Manganbronzen.

A. Die bisherigen Untersuchungen.

1. von Heusler-Haupt.

An Manganzinn stellte Heusler zum ersten Male fest, daß Legierungen aus schwach magnetisierbaren Komponenten stark ferromagnetische Eigenschaften besitzen können. Die ersten Untersuchungen stammen aus dem Jahre 1901 von Heusler und Haupt[1]). Sie wurden an 4 Proben angestellt, welche aus 30%igem Mangankupfer in der Weise hergestellt waren, daß auf 1 Atom Zinn 2, 3, 4 bzw. 6 Atome Mangan kamen. Die Proben wurden bei 110° gealtert. Haupt führt als Ergebnis an: „Es scheint die maximale Magnetisierbarkeit bei dem Verhältnis von 3 Atomen Mangan zu einem Atom Zinn zu liegen"; „qualitative Beobachtungen deuten ein ähnliches Maximum für die kupferfreien Legierungen an".

1) Fr. Heusler, Über magnetische Manganlegierungen. Verh. d. Deutschen Physikal. Ges. **5**, S. 219, 1903. Ferner Fr. Heusler, W. Starck und E. Haupt, Magnetisch-chemische Studien, Verh. d. D. Physikal. Ges. **5**, S. 219—232, 12. VI. 1903. Nach diesen kurzen vorläufigen Mitteilungen erschien dann später eine ausführliche Mitteilung in den Schriften der Ges. zur Bef. d. ges. Naturw. zu Marburg, Abtlg 5, **13**, S. 237—300, 1904: Über die ferromagnetischen Eigenschaften von Legierungen unmagnetischer Metalle, von Fr. Heusler und — unter Mitwirkung von F. Richarz — von W. Starck und E. Haupt. Der experimentelle Teil kam in der Inaug.-Dissertation von E. Haupt, Marburg 1904, ganz zum Abdruck. Vergl. ferner den Auszug von E. Haupt in der Naturw. Rundschau **21**, S. 69—71, 1906, sowie besonders eine spätere zusammenfassende Abhandlung von Fr. Heusler, Magnetische Manganlegierungen. Wallach-Festschrift, S. 467—477, Göttingen 1909. Verlag von Vandenhoeck & Ruprecht.

In der folgenden Zeit wurde den Zinn-Manganbronzen weniger Beachtung geschenkt, da die Aluminium-Manganbronzen sich zu den Untersuchungen besser zu eignen schienen.

2. Untersuchungen von R. S. Williams.

Manganzinn ist dann erst wieder untersucht worden von R. S. Williams[1]), allerdings nur rein qualitativ mit Hilfe einer Kompaßnadel. Er findet dabei ein Maximum der Magnetisierung, welches er einer Verbindung Mn_1Sn zuschreibt. Außerdem nimmt Williams auch noch eine Verbindung Mn_2Sn an, die aber relativ nur schwach magnetisierbar ist. Die magnetischen Umwandlungspunkte stellt er fest für Mn_1Sn bei 115—119° und für Mn_2Sn bei 260—265° C.

3. Untersuchungen von H. Faßbender.

Auch Faßbender[2]) findet im Marburger Institut bei Versuchen mit Manganzinnpulvern ein Maximum der Magnetisierung bei Mn_4Sn. Jedoch spricht er die Vermutung aus, daß das wirkliche Maximum eventuell bei einem geringeren Mangangehalt, etwa bei Mn_3Sn, liegen könne.

4. Untersuchungen von A. D. Roß und R. C. Gray.

Neuerdings haben dann Roß und Gray[3]) die Zinn-Manganbronzen untersucht. Ihre Legierungen stellten sie aus 30%igem Mangankupfer her, der Zinngehalt ihrer Proben betrug 14, 16, 18, 30, 38 und 48%. Unter diesen Proben finden sie die Legierung mit 38% Sn als die am stärksten magnetisierbare. Eine Erklärung dafür, warum gerade bei dieser Legierung ein Maximum auftritt, geben sie nicht.

---

1) R, S. Williams, Zeitschrift f. anorg. Ch., Bd. **55**, S. 24—31, 1907.
2) H. Faßbender, Verh. d. Deutschen Physikal. Ges. Bd. **10**, S. 262, 1908.
3) A. D. Roß a. R. C. Gray, Edingburgh Proc. **31**, p. 85—99, 1910.

B. Heuslers Theorie über den Träger der ferromagnetischen Eigenschaften bei den Aluminium-Manganbronzen; Richarz' Annahme komplexer Molekeln bei langsamer Abkühlung.

Wie oben bereits erwähnt wurde, sind die Aluminium-Manganbronzen am eingehendsten untersucht worden. Für sie hat Heusler, gestützt auf die im Marburger Physikalischen Institut entstandenen Arbeiten von Haupt[1]) und Preußer[2]), auch eine Erklärung über den Träger der ferromagnetischen Eigenschaften geben können[3]). Von den Komponenten der Legierungen ist Aluminium paramagnetisch, Kupfer diamagnetisch, während Mangan durch neuere Arbeiten[4]) in qualitativer Hinsicht zwar als schwach ferromagnetisch, in quantitativer Hinsicht dagegen auch nur als ganz schwach magnetisierbar nachgewiesen ist.

Heuslers Theorie ist nun folgende:

Der Träger des ferromagnetischen Molekularmagnetismus ist eine chemische Verbindung. Heusler geht dabei aus von der bekannten Verbindung $AlCu_3$ und sagt, in dieser Verbindung kann Cu durch Mn isomorph in wechselnden Mengen vertreten werden, also lautet die Verbindung $Al\,(Cu, Mn)_3$. Damit soll aber nicht behauptet sein, daß dieser einfache Molekel der Träger des Ferromagnetismus ist. Über die Größe der Molekel macht Heusler keine bestimmten Angaben und schreibt deshalb die Verbindung $[Al\,(Cu, Mn)_3]_x$ oder allgemein $(AlM_3)_x$.

Übrigens hatte auch Richarz bereits früher zur Erklärung der Heusler-Asterothschen Versuche[5]) die Bildung von Molekularkomplexen angenommen. Er sprach die Annahme

---

1) E. Haupt a. a. O.

2) W. Preußer, Inaug.-Dissertation Marburg 1908.

3) Vergl. W. Preußer a. a. O. S. 86. Ferner Fr. Heusler, Zeitschr. f. anorg. Ch. Bd. **61**, S. 277—278, 1909: bei der Redaktion eingelaufen am 3. Okt. 1908. Siehe auch die vorläufige Mitteilung in den Schriften d. Ges. z. Bef. d. ges. Naturw. zu Marburg, 6. Juni 1908: Sitz.-Ber. S. 203.

4) Vgl. K. Ihde, Inaug.-Dissertation Marburg 1912 und Ann. d. Phys. (4) **41**, S. 829—853, 1913. Ferner W. Lepke, Inaug.-Dissertation Marburg 1913 und Verh. d. Deutsch. Physikal. Ges., **16**, S. 369—382, 1914.

5) Vgl. P. Asteroth, Inaug.-Diss. Marburg S. 51—53, 1907.

daß eine Legierung um so größere Komplexe enthalte, je langsamer dieselbe von einer oberhalb des magnetischen Umwandlungspunktes gelegenen Temperatur aus abgekühlt werde.

C. Takes Annahme einer Komplexbildung beim Altern und seine Erklärung der von ihm eingehend untersuchten Alterungs- und Umwandlungserscheinungen bei den Aluminium-Manganbronzen unter Mitbenutzung der Heuslerschen und der Richarzschen Hypothese.

Fast unmittelbar nach der Entdeckung der nach ihm benannten ferromagnetisierbaren Manganlegierungen fand Heusler auch die merkwürdige und wichtige Eigenschaft, daß durch künstliche Alterung die Magnetisierbarkeit unter Umständen ganz beträchtlich gesteigert werden kann. Starck, Haupt und Preußer bestätigten diese Beobachtung durch zahlreiche quantitative Versuche. Eine systematische und eingehende Untersuchung der ganzen Alterungs- und der damit aufs innigste verknüpften Umwandlungserscheinungen hat aber erst neuerdings Take [1]) angestellt. Es gelang ihm auch, unter Mitbenutzung der oben erwähnten Heuslerschen Hypothese über den Träger der ferromagnetischen Eigenschaften und der Richarzschen über die Komplexbildung bei langsamer Abkühlung die sämtlichen Alterungserscheinungen zu erklären, die er beim künstlichen Altern beobachtete, und zwar sowohl den Einfluß der Alterungen bei verschiedenen Temperaturen auf die Magnetisierungswerte selbst wie auch auf die Lage des magnetischen Umwandlungspunktes.

---

1) E. Take, Alterungs- und Umwandlungs-Studien an Heuslerschen ferromagnetisierbaren Aluminium-Manganbronzen insbes. an Schmiedebronzen. Abhandl. d. Kgl. Ges. der Wiss. zu Göttingen Bd. **8**. Berlin 1911. S. 96 ff. Vergl. ferner die vorläufige Mitteilung in den Verh. d. Deutsch. Physikal. Ges. Bd. **12**, S. 1059—1084, 1910 und besonders den Auszug in der Naturw. Rundschau, Bd. **26**, S. 505—508 u. 521—524, 1911. — Siehe ferner Fr. Heusler u. E. Take, Transact. of the Faraday Soc., Bd. **8**, Teil 1, 1912 und Physikal. Zeitschr., Bd. **13**, S. 897—908, 1912.

Take sagt hierüber unter anderem folgendes[1]):

„Diese Annahme Herrn Heuslers über den Träger der ferromagnetischen Eigenschaften in den von ihm entdeckten Legierungen läßt aber noch zwei Möglichkeiten zu, wie man sich die Entwicklung des stark ferromagnetischen Sättigungswertes der Magnetisierung infolge des Alterungsprozesses vorstellen könnte. Zunächst wäre es denkbar, daß die chemische Verbindung $(AlM_3)_x$ zwar bereits vor der Alterung abgeschreckter Proben in einer festen Lösung vorhanden ist, daß aber obige Verbindung in diesem Zustande keine ferromagnetischen Eigenschaften äußert, daß vielmehr die Eigenschaften des Ferromagnetismus erst dann zutage treten, wenn die Verbindung $(AlM_3)_x$ sich aus der festen Lösung ausgeschieden hat. Hiernach müßten wir dann also auch bei Rotglut in der Legierung die Existenz einer festen Lösung der Verbindung $(AlM_3)_x$ annehmen, indessen dürfte diese Hypothese wohl kaum den Tatsachen entsprechen. Viel plausibler erscheint mir die Annahme, daß bei hohen Temperaturen, also auch in den abgeschreckten, ungealterten Proben die relativ komplizierte Verbindung $(AlM_3)_1$ bezw. $(AlM_3)_x$ in mehr oder minder große Bruchstücke dissoziiert ist, und daß dann die bei der Alterung auftretende Entwicklung stark ferromagnetischer Eigenschaften erst durch Assoziation der chemischen Verbindung $(AlM_3)_x$ zustande kommt. Diese Vorstellung wird auch von den Herren Richarz[2]) und Heusler vertreten".

Im einzelnen denkt sich Take den Alterungsverlauf etwa so, daß die ferromagnetischen Molekeln $(AlM_3)_x$ bei höheren Temperaturen, z. B. bei 600°, zum weitaus größten Teile durch Dissoziation in einzelne Bruchstücke zerfallen sind, die dann ihrerseits sich ev. in einer festen Lösung mit dem Rest der Legierung befinden. Schreckt man die Legierung in diesem Zustande ab, so sind zwar einige ganz wenige ferromagnetische Molekeln bereits in der ungealterten Probe vorhanden, indessen würde erst durch den Alterungsprozeß eine allgemeine, vollständige Ausbildung von Molekeln der obigen chemischen

1) E. Take, Göttinger Abhandlg. l. c., S. 95.

2) F. Richarz, Physikal. Zeitschr. Bd. **12**, S. 151—158, 1911.

Zusammensetzung zustande kommen. Beim Altern müssen also solche inneren Struktur-Umlagerungen auftreten, daß hierdurch eine allgemeine Rückbildung der durch Dissoziation mehr oder minder zersprengten Molekeln $(Al\,M_3)_x$ erfolgt. Hat dagegen eine Legierung Gelegenheit, von hohen Temperaturen aus langsam zu erkalten, so können sich bereits hierbei die dissoziierten Molekeln z. T. zurückbilden, und zwar um so besser, je länger die Dauer der Abkühlung. Nach dem langsamen Erkalten wird dann also eine große Anzahl der ferromagnetischen Molekeln $(Al\,M_3)_x$ vorhanden sein.

Heusler hält es auch für möglich, daß eine einzige Molekel $(Al\,M_3)_1$ noch keine ferromagnetischen Eigenschaften zeige, sondern daß die Erscheinungen des Ferromagnetismus vielleicht erst an die Existenz einer polymeren Modifikation $(Al\,M_3)_x$ gebunden sei.

Weiterhin spricht Take aus, daß sich die Umwandlungs- und Alterungserscheinungen auch erklären ließen, wenn man annimmt, daß die ferromagnetischen Eigenschaften nicht an einzelne Molekeln, sondern an bestimmte kristallisierte Molekular-Aggregate gebunden seien. Im unmagnetisierbaren Zustand würden diese kristallisierten Elementarmagnete ungeordnet sein; in ein magnetisches Feld gebracht, würden sie aber gleichgerichtet und stark ferromagnetische Eigenschaften zeigen. Nach dem Guß bzw. nach dem Abschrecken würden dann die einzelnen Bruchstücke sich zunächst in einer festen Lösung befinden. Durch die künstliche Alterung aber würden sie sich allmählich zu einem kristallisierten Aggregat von ganz bestimmtem Aufbau zusammenschließen. Hierbei müßte man also annehmen, daß die ferromagnetischen Eigenschaften an das Auftreten eines Raumgitters gebunden seien. Andererseits gibt allerdings Hilpert[1]) an, daß er Ferromagnetismus an den Ferriten des Kupferoxyds, des Kobalt- und Eisenoxyduls auch in amorphem Zustande konstatiert habe.

Die erwähnten Erklärungsmöglichkeiten beziehen sich bisher nur auf die Ausbildung der ferromagnetischen Elementarmagnete, durch welche der Verlauf des magnetischen Sättigungs-

1) S. Hilpert, Verh. d. Deutsch. Physikal. Ges. **11**, S. 293—299, 1909.

wertes bedingt ist. Aber, wie Take[1]) an den Aluminium-Manganbronzen gezeigt hat, ist noch eine zweite, von der ersten ganz verschiedene Strukturumlagerung vorhanden, der zufolge die freie Richtbarkeit der Elementarmagnete bzw. der Bahnebenen rotierender Magnetisierungselektronen mit wachsender Alterungsdauer stark abnimmt. Diese zweite Strukturänderung ist meßbar durch den Verlauf des maximalen Wertes der Koerzitivkraft. Take nimmt als Erklärung für diese zweite Umlagerung der Alterung eine intermolekulare Konstitutionsänderung an, die aber von der Konstitutionsänderung bei der Ausbildung der ferromagnetischen Elementarmagnete verschieden ist, und zwar denkt er sich hier eine Polymerisation (Komplexbildung) zwischen den einzelnen ferromagnetischen Elementarmagneten, wie sie zur Erklärung anderer Erscheinungen[2]) auch bereits von F. Richarz angenommen wurde. Die Komplexe würden sich dann aus Elementarmagneten $(AlM_3)_1$ bzw. $(AlM_3)_x$ oder nach anderer Erklärungsweise aus kristallisierten Molekularaggregaten zusammensetzen.

Erst unter Annahme dieser zweiten Umlagerung konnte Take sämtliche von ihm beobachteten Alterungserscheinungen an den Aluminium-Manganbronzen erklären: die bei 600° abgeschreckten Aluminium-Manganbronzen zeigten ungealtert nur geringe Magnetisierbarkeit. Mit wachsender Alterungsdauer nahmen dann die Magnetisierungswerte der ganz hohen Felder bis zur Erreichung eines stabilen Endzustandes fortwährend zu. Bei kleinen und mittleren Feldern dagegen stieg die Magnetisierung zwar auch während der ersten Zeit der Alterung; sie erreichte aber nach einiger Zeit ein Maximum, um sich dann schließlich einem konstanten Grenzwert zu nähern! Dieses Maximum war bei äußerst kleinen Feldern nur gering, bildete sich aber mit steigender Feldintensität immer schärfer aus, um sich später bei noch höheren Feldern wiederum immer mehr zu verflachen. Bei genügend starken Feldern trat an Stelle des Maximums ein Wendepunkt. Für den Fall der Sättigung schließlich nahm die Magnetisierung (mit

1) Take, Göttinger Abhandlg. l. c., S. 100.

2) Vergl. P. Asteroth, Inaug.-Diss. Marburg 1907 u. Naturw. Rundschau **23**, S. 249 - 250, 1908 und E. Dippel, Inaug.-Diss. Marburg 1910, u. Ann. d. Phys. (4), **42**, S. 889, 1913.

zunehmender Alterungsdauer) stetig zu in der Form einer jungfräulichen Kurve.

Langsam (während 30 Stunden) von hohen Temperaturen aus erkaltete Bronzen zeigten nach den Untersuchungen von Take nur relativ geringe Alterungsfähigkeit. Dies war nach den bisherigen Erklärungen auch durchaus verständlich. Denn bereits während der langsamen Erkaltung konnten sich ja Elementarmagnete und deren Komplexe ausbilden und zwar in um so größerem Maße, je langsamer die Abkühlung stattfand.

D. Erklärung vom elektronentheoretischen Standpunkt aus.

1. Nach F. Richarz und P. Weiß.

Das Zustandekommen des starken Ferromagnetismus bei den Heuslerschen Legierungen läßt sich vom elektronentheoretischen Standpunkt aus etwa folgendermaßen vorstellen. Herr Prof. Richarz gibt verschiedene Möglichkeiten, die sich an seine Erklärung des Atommagnetismus durch rotierende Helmholtzsche Elementarquanten[1]) anschließen. Die eine Erklärungsmöglichkeit sei die[2]): Während der Alterung gelangen infolge konstitutiver innerer Änderungen Elektronen innerhalb des Molekularverbandes zum Rotieren, die vor der Alterung noch nicht rotierten. Dadurch werden dann die starken Elementarmagnete $(AlM_3)_x$ ausgebildet. Andererseits könne man sich vorstellen[3]), daß im Manganatom die Richtbarkeit der bereits zuvor rotierenden Elementarquanten für gewöhnlich durch benachbarte entgegengesetzte Elementarquanten behindert sei, daß diese Behinderung aber durch die in den Heuslerschen Legierungen vorhandenen Verbindungen des Manganatoms mit Aluminium- und Kupferatomen

---

1) F. Richarz, Sitz.-Berichte der Niederrhein. Ges. zu Bonn, 4. Dez. 1893; Sitz.-Ber. der Münchener Akademie **24**, S. 3, 1894; Wied. Ann. **52**, S. 410, 1894.

2) F. Richarz, Zeitschr. f. anorg. Ch. **61**, S. 271, 1909.

3) Vergl. W. Gebhardt, Dissertation Marburg 1909, S. 35, 36.

beseitigt werde. Diese Erklärungsmöglichkeit wird auch von P. Weiß[1]) angegeben.

Schließlich könne angenommen werden[2]), daß im stark ferromagnetischen Zustande die zirkulierenden Elektronen in größerer Anzahl oder mit größerer Geschwindigkeit oder in weiteren Bahnen rotierend vorhanden seien als im schwach magnetischen Zustand; oder es sei denkbar, daß die Richtbarkeit der Bahnebenen im ersteren Falle eine größere sei. Auf jeden Fall werde für den stark ferromagnetischen Zustand eine freiere Beweglichkeit von gewissen Elektronen angenommen, sei es durch freiere Rotation, sei es durch freiere Richtbarkeit der Bahnebenen, oder eine Vermehrung der Anzahl dieser frei beweglichen Elektronen.

2. Erklärungsmöglichkeit nach E. Take.

Im Gegensatz zu den diamagnetischen Molekeln besitzen bekanntlich die Molekeln eines para- und ferromagnetischen Körpers ein von Null verschiedenes magnetisches Moment, welches sich aus der geometrischen Addition aller einzelnen magnetischen Momente ergibt, die von sämtlichen innerhalb des Molekularverbandes rotierenden Elektronen erzeugt werden. Die Alterungserscheinungen könnten dann so erklärt werden[3]):

„Bereits vor der Alterung sind in den einzelnen noch getrennten Bausteinen der Elementarmagnete, insbesondere wohl in den Manganatomen, eine gewisse Anzahl von Elektronen in Rotation begriffen, indessen auf solchen Bahnen, daß die magnetischen Momente der Elektronenbahnen in den einzelnen Bausteinen der späteren Elementarmagnete sich nach außen hin nur zu je einem sehr kleinen Gesamtmoment addieren. Bei dem Aufbau der stark ferromagnetischen Elementarmagnete, sei es durch Alterung oder durch langsame Abkühlung, werden nun durch Umlagerungen die einzelnen Bahnen der rotierenden

---

1) P. Weiß, Journ. de Phys. (4) **6**, p. 689, 1907.

2) F. Richarz, Marburger Sitzungsberichte 1910, S. 68. Ferner F. Richarz, Physikal. Zeitschr. Bd. **12**, S. 151—158, 1911.

3) E. Take, Göttinger Abhandlg. l. c., S. 99.

Elektronen derart deformiert oder gegeneinander verschoben, daß nunmehr bei der fertigen Verbindung $(Al\,M_3)_x$ ein sehr großes resultierendes Gesamtmoment auftritt".

E. Heuslers Theorie über den Träger der ferromagnetischen Eigenschaften bei den Zinn-Manganbronzen.

Heusler nimmt also, wie schon erwähnt, bei den Aluminium-Manganbronzen als Träger des starken Ferromagnetismus die Verbindung $(Al\,M_3)_x$ an. In ganz entsprechender Weise ist nun nach Heuslers, schon lange vor der Fragestellung für meine Arbeit gefaßten, aber erst kürzlich nach deren experimentellen Ausführung veröffentlichten Ansicht[1]) bei den Zinn-Manganbronzen die Verbindung $(Sn\,M_3)_x$ für die stark ferromagnetischen Eigenschaften maßgebend. Auch hier soll M teils Kupfer- teils Manganatome bedeuten, die sich in wechselnden Mengen isomorph vertreten können. Die Größe der Molekel ist auch hier wie bei den Aluminium-Manganbronzen unbestimmt.

Während bei den Aluminiumlegierungen eine Verbindung des dreiwertigen Aluminiums durchaus zurecht bestand, ist eine Erklärung wegen der Wertigkeit bei den Zinnbronzen nicht so einfach. Zinn ist im allgemeinen als zwei- und vierwertig bekannt. Jedoch gibt es unter den Zinnlegierungen Verbindungen, die auf eine andere Wertigkeit hindeuten. So bilden Zinn und Kupfer eine große Reihe von Legierungen mit verschiedenen chemischen Zusammensetzungen[2]). Von diesen ist $Sn\,Cu_3$ als chemische Verbindung von verschiedenen Autoren bewiesen: F. Gioletti und G. Savanti[3]), Charpy[4]), Heycock und Neville[5]).

Analog dieser Verbindung $Sn\,Cu_3$ nimmt nun Heusler die Verbindung $(Sn\,M_3)_x$ an. Ihr soll das Maximum der Magnetisier-

1) Fr. Heusler, Zeitschr. f. Anorg. Chemie **88**, S. 185—188, 1914.

2) Vgl. Dammer, Handbuch der chemischen Technologie (Stuttgart 1895—98) II, S. 707 ff.

3) F. Gioletti und G. Savanti, Gaz. chim. ital. **38** II, S. 209—238, 1908.

4) Charpy, Comptes rendues, **124**, S. 957, 1897.

5) Heycock und Neville, Phil. Trans. I, **202**, S. 1—25, 1903.

barkeit entsprechen. Um dies zu untersuchen, wurden 11 Legierungen aus 3 Konzentrationsreihen hergestellt; und zwar geschah dies in der Weise, daß zu 30 bzw. 15 bzw. 7,5 prozentigem Mangankupfer wechselnde Mengen Zinn zugegeben wurden, die so gewählt waren, daß auf 1 Atom Zinn verschiedene Atome M kamen. Das Atomverhältnis M von Mangan zu Kupfer ist dann (wegen Atomgewicht $Cu = 63{,}57$ und Atomgewicht $Mn = 54{,}93$) bei den verschiedenen Konzentrationsreihen durch die in der folgenden Tabelle angegebene molekulare Zusammensetzung bestimmt.

Konzentrationsreihe	ausgehend von	Atomverhältnis M
I.	30% Mangankupfer	$M = \frac{Mn_1\, Cu_2}{3}$
II.	15% „	$M = \frac{Mn_1\, Cu_5}{6}$
III.	7,5% „	$M = \frac{Mn_1\, Cu_{11}}{12}$

Es wurden nun von mir eine Reihe von Legierungen aus den drei Konzentrationsreihen untersucht, deren angenäherte Atom- und Gewichtsverhältnisse, nach dem Einsatz beim Gießen berechnet, in folgender Tabelle zusammengestellt sind.

Tabelle 4.

Guß Nr.	Atomverhältnis	Gewichtsverhältnis in % $Sn : Mn : Cu$	Atomverhältnis in % $Sn : Mn : Cu$
		I. Konzentrationsreihe:	
I 20	$Sn_1 M_2$	49,4 : 15,3 : 35,3	33,3 : 22,2 : 44,5
I 27,5	$Sn_1 M_{2,75}$	41,6 : 17,6 : 40.8	26,6 : 24,4 : 49,0
I 30	$Sn_1 M_3$	39,6 : 18,2 : 42,2	25,0 : 25,0 : 50,0
I 35	$Sn_1 M_{3,5}$	36,0 : 19,2 : 44,8	22,2 : 26,0 : 51,8
I 40	$Sn_1 M_4$	32,9 : 20,2 : 46,9	20,0 : 26,6 : 53,4
I 50	$Sn_1 M_5$	28,2 : 21,7 : 50,1	16,7 : 27.8 : 55,5
		II. Konzentrationsreihe:	
II 20	$Sn_1 M_2$	48,8 : 7,6 : 43,6	33,3 : 11,1 : 55,6
II 30	$Sn_1 M_3$	38,9 : 9,0 : 52,1	25,0 : 12,5 : 62,5
II 40	$Sn_1 M_4$	32,2 : 10,0 : 57,8	20,0 : 13,3 : 66,7
II 90	$Sn_1 M_9$	17,5 : 12,1 : 70,4	10,0 : 15,0 : 75,0
		III. Konzentrationsreihe:	
III 30	$Sn_1 M_3$	38,6 : 4,4 : 57,0	25,0 : 6,2 : 68,8

F. Ausführung der Messungen an den Zinn-Manganbronzen und ihre Ergebnisse[1]).

1. Tabellarische Zusammenstellung der Alterungsversuche.

Die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchungen sind in den Tabellen 5—15, S. 43—53 zusammengestellt. Es sind dort die Magnetisierungswerte nach den verschiedenen Alterungsstunden bei mehreren Feldstärken zwischen 0 und 1000 Gauß verzeichnet. Dabei beziehen sich die Buchstaben *a*, *b*, *c* etc. hinter den Bezeichnungen der einzelnen Legierungen auf verschiedene Probestücke ein und desselben Materials.

Zu den Tabellen sei noch folgendes bemerkt: Probe I 50 b konnte wegen ihrer Sprödigkeit nicht bearbeitet werden, die angegebenen Werte erheben daher keinen Anspruch auf große Genauigkeit. Ebenso konnte Probe I 20 b nicht genau in kreiszylindrische Form gebracht werden. Für die Probe I 27,5 *d* stand mir nur ein kurzer Stab zur Verfügung, dessen Entmagnetisierungsfaktor den großen Wert 0,912 hatte. Die Magnetisierung der Probe III 30 b war sehr gering, der Sättigungswert wurde zu 3 [*CGS*] bestimmt. Dieser Guß III 30 b stellt das Maximum der III. Konzentrationsreihe dar, seine chemische Zusammensetzung wurde auf Grund der Theorie gewählt.

---

1) Vgl. die vorläufige Mitteilung von E. Take und A. Semm in den Verhandl. d. Deutsch. Physikal. Ges. **16**, S. 971–988, 1914. Die Figuren 1—7 dieser Abhandlung stellte mir die Verlags-Buchhandlung Friedr. Vieweg und Sohn (Braunschweig) für die vorliegende Dissertation in liebenswürdiger Weise zur Verfügung, wofür ich ihr auch an dieser Stelle meinen herzlichsten Dank aussprechen möchte.

Probe I 20b. Magnetisierungswerte nach einer Alterung bei 110^0. **Tabelle 5.**

Vgl. Fig. 8 auf S. 67

Feldstärke $\mathfrak{H}_t$	Alterungsstunden																
	0^h	5^h	10^h	15^h	25^h	50^h	75^h	100^h	150^h	200^h	300^h	400^h	500^h	600^h	800^h	1000^h	1500^h
2,5	0,10	0,10	0,06	0,07	0,12	0,10	0,10	0,12	0,11	0,11	0,10	0,11	0,11	0,10	0,10	0,10	0,10
10	0,43	0,43	0,26	0,40	0,50	0,42	0,42	0,51	0,43	0,42	0,44	0,42	0,43	0,43	0,44	0,43	0,42
20	1,05	0,96	0,64	0,95	1,03	0,91	0,92	1,01	0,93	0,86	0,90	1,00	0,90	0,93	0,92	0,84	0,75
25	1,30	1,23	0,86	1,21	1,31	1,20	1,20	1,36	1,18	1,10	1,13	1,30	1,12	1,19	1,16	1,05	1,04
30	1,67	1,50	1,07	1,44	1,58	1,50	1,49	1,51	1,45	1,32	1,36	1,58	1,34	1,44	1,40	1,25	1,23
35	1,92	1,75	1,28	1,67	1,88	1,80	1,76	1,78	1,72	1,56	1,59	1,84	1,56	1,73	1,63	1,47	1,45
40	2,30	2,0	1,50	1,90	2,17	2,10	2,06	2,06	2,00	1,70	1,82	2,08	1,80	1,99	1,88	1,68	1,65
50	2,93	2,47	1,95	2,36	2,75	2,67	2,64	2,65	2,53	2,25	2,27	2,54	2,27	2,45	2,22	2,11	2,09
75	4,46	3,58	3,30	3,50	4,00	3,80	4,11	4,20	3,84	3.27	3,40	3,61	3,38	3,49	3,36	3,24	3,05
100	6,0	4,6	4,7	4,9	5,6	5,2	5,5	5,3	4.9	4,6	4,6	4,7	4,4	4,4	4.3	4,3	4,3
125	7.7	5,9	6,2	6,4	7,2	6.5	6,7	6,7	5,9	5,9	5,8	5,9	5,8	5,8	5,4	5,4	5,3
150	9,4	7,2	7,8	8,0	8,7	7,8	8,0	8,0	7,4	7,1	7,1	7,3	7,0	7,0	6,9	6,7	6,4
200	12,6	10,0	10,9	11,0	11,5	10,4	10,4	10,5	10,0	9,6	9,9	10,1	9,6	9,4	9,2	9,0	8,6
300	18,8	16,0	17,3	17,2	17,2	16,9	15,8	16,0	15,6	14,6	15,3	15,6	14,7	14,4	13,8	13,7	13,5
400	24,4	20,6	23,0	22,9	23,1	22,5	20,7	22,8	21,5	19,5	20,4	20.7	19,5	19,1	18,3	18,1	18,0
500	29,3	24,3	28,0	27,8	28,1	27,1	25,4	28,2	26,3	23,9	25,2	24,8	23,4	23,2	22,2	22,1	22,0
600	33,2	27.4	31,8	31,5	32,1	30,7	29,2	33,1	30,6	27,7	29,6	28,1	26,8	26,7	25,8	25.8	25,3
700	36.3	29,7	34,1	34,1	35,2	33,7	31,8	36,9	32,7	31.6	33,5	30,0	30,0	29,5	29,2	28,8	28,1
800	38,5	31,5	36,2	36,3	37,8	36.2	33,7	40,6	34,7	34,0	36,3	33,4	32,6	31,8	31,8	31,4	30,5
900	40,0	33,2	38,1	38,1	39,7	37,8	35,1	42.8	37,2	35,9	38,1	35,5	34,5	33,7	33,7	33,3	32,5
1000	41,4	34,9	39,4	39,6	41,4	39,2	36,6	44,5	38,9	37,4	39,3	37,5	36,0	35,6	34,9	34,5	34,2
Koerzitivkraft $\mathfrak{H}_c =$ $[\mathfrak{H}_{max}=1000]$	100	105	108	110	113	118	122	125	130	132	132	124	110	107	106	105	105

Legierung I 27,5 c.

Tabelle 6.

Magnetisierungswerte nach einer Alterung bei 110°.

Vgl. Fig. 9 auf S. 68

Feldstärke $\mathfrak{H}_t$	Alterungsstunden														
	0h	5h	10h	25h	50h	100h	150h	200h	262h	350h	450h	550h	785h	1000h	1500h
2,5	2,0	1,8	2,1	1,6	1,4	1,1	1,1	1,0	0,7	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,9
10	11,1	8,6	8,5	6,8	6,0	4,8	4,8	4,8	3,4	4,2	4,0	4,0	4,0	3,9	3,2
15	18,6	14,2	13,0	10,4	9,2	7,4	7,4	7,4	5,7	6,3	6,0	6,0	6,0	5,9	5,1
20	26,2	19,8	17,4	13,8	12.7	10,2	10,1	10,1	8,4	9,0	8,2	8,2	8,2	8,0	7,1
25	33,8	25,6	22,1	17,2	16,8	12,8	12,4	12,8	11,4	11,4	10,4	10,4	10,4	10,1	9,1
30	41,5	31,5	26,8	20,8	20,0	15,6	15,0	16,0	14,6	13,8	12,6	12,6	12,6	12,8	11,3
40	56,0	43,5	36,4	28,0	27,6	21,4	20,4	21,6	21,0	18,2	17,2	17,2	17,2	16,9	15,8
50	70,6	56,4	47,2	35,7	34,8	27,2	26,0	27,2	27,2	22,6	21,8	21,4	21,2	21,3	20,0
75	112,2	96,6	78,1	57.0	56,3	43,3	42,0	43,2	39,2	35,0	34,6	34,6	34,0	33,4	32,0
100	152,8	129,0	110,0	71,8	74,2	61,4	58,2	61,0	58,4	50,6	49,1	47,6	47,0	45,4	44,2
125	185,8	160,0	138,1	102,1	94,0	79,2	74,8	78,1	73,2	62,5	63,2	60,4	59,6	59,0	56,0
200	261,4	241,6	209,1	161,0	150,7	126,2	117,6	122,4	117,0	105,3	104,1	100,2	95,5	96,0	93,0
300	319,0	297,2	271,6	219,2	207,1	177.5	167,2	176,0	166,8	153,6	149,2	146,4	140,8	141,2	136,1
400	350,8	330,1	308,8	258,0	248,1	214,6	206,0	214,6	206,2	190,2	182,4	179,0	176,4	177,4	171,5
500	373,1	353,0	340,0	285,6	276,0	244,4	234,1	243,0	236,8	218,3	207,8	204,4	203,6	201,4	196,8
600	387,0	368.1	351,1	304,6	297,1	268,4	254,8	267,2	261,0	239,0	230,3	226,4	224,5	222,0	219,2
700	398,2	378,4	366,0	314,6	311,2	282,4	271,0	290,1	280,1	255,1	248.4	244,6	241,2	237,4	234,0
800	406,1	385,4	374,8	323,0	320,5	293,5	282,8	296,8	292,1	267,2	260,0	256,3	252,4	249,2	246,2
900	413,8	390,8	378,6	330,1	328,0	303,6	292,8	308,4	305,6	278,0	267,2	262,6	261,2	258.4	255,6
1000	418,0	396,0	384,0	336,3	335,6	313,2	301,2	320,0	314,2	286,4	274,2	266,4	264,8	264,0	263,4
Koerzitivkraft $\mathfrak{H}_c$ $[\mathfrak{H}_{max} = 1000]$						95	101	104	105	105	106	106	107	108	108

Probe I 27,5 d. Magnetisierungswerte nach einer Alterung bei 80°. **Tabelle 7.**

Feldstärke $\mathfrak{H}_t$	Alterungsstunden														
	0h	25h	100h	200h	300h	400h	600h	800h	1000h	1500h	2000h	2500h	3000h	3500h	4000h
2,5	2,8	2,2	1,5	1,4	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
10	11,4	9,0	6,1	5,5	4,8	4,8	5,2	4,6	4,3	4,3	3,8	4,1	4,1	4,0	4,0
15	17,6	12,0	9,3	8,4	7,5	7,5	8,0	7,0	6,2	6,2	5,8	6,1	6,1	6,0	6,0
20	24,2	19,4	12,8	11,3	10,3	10,2	10,8	9,6	8,5	8,5	7,8	8,4	8,4	8,3	8,3
25	31,4	25,0	16,3	14,2	13,2	13,2	13,8	12,2	10,8	10,7	10,7	10,7	10,7	10,6	10,5
30	38,8	30,4	19,6	17,4	16,0	16,0	16,7	14,9	13,2	13,1	12,2	13,0	13,0	12,5	12,4
35	46,2	36,0	23,2	20,8	18,8	19,0	19,6	17,8	16,0	15,8	14,5	15,6	15,4	14,8	14,7
40	54,0	42,0	27,0	24,2	21,9	22,2	22,7	20,4	18,7	18,1	16,8	18,0	17,4	17,0	16,7
50	69,4	55,0	34,6	31,3	28,6	28,3	28,4	26,7	24,5	23,3	21,6	23,6	22,7	21,8	21,3
75	109,4	86,0	56,5	51,8	46,5	45,5	45,2	43,2	40,7	36,8	34,0	36,5	35,6	34,6	34,3
100	147,6	116,0	78,8	75,4	67,4	63,4	63,2	61,1	59,5	52,1	48,0	50,2	50,0	49,8	49,6
125	187,2	148,0	102,6	98,0	87,0	82,0	80,0	78,8	72,6	66,4	62,4	64,8	64,4	63,0	62,8
150	226,8	181,2	126,2	120,0	108,0	102,6	98,0	98,0	89,0	82,0	78,0	80,6	79,0	77,6	77,4
200	270,8	229,6	171,0	159,6	148,2	140,2	132,4	130,2	123,2	114,0	110,4	113,8	111,0	108,4	108,0
300	317,2	293,4	236,0	217,6	206,0	202,4	192,6	186,2	180,6	170,0	166,4	169,0	165,0	162,2	161,8
400	345,0	326,5	277,4	259,2	247,0	238,6	233,6	228,2	220,0	209,6	205,6	208,2	201,6	199,0	199,2
500	364,0	347,6	302,4	284,8	274,2	265,4	261,6	256,0	248,0	238,0	233,8	234,2	230,0	226,4	225,6
600	378,8	364,0	320,8	308,4	293,6	287,2	282,6	277,6	269,2	259,2	255,6	256,0	252,0	248,5	247,6
700	390,2	377,0	335,4	320,0	310,4	303,2	299,0	294,4	286,0	278,4	273,2	271,5	269,6	266,4	265,4
800	399,2	387,8	345,6	330,4	322,4	314,4	311,6	307,6	299,0	290,0	286,8	285,6	284,0	280,5	279,4
900	406,0	395,6	352,6	337,4	330,0	323,4	321,0	317,2	309,2	299,8	296,6	296,0	294,8	291,6	290,2
1000	411,4	403,2	358,8	344,0	335,0	330,0	329,0	324,0	317,6	308,0	304,5	303,6	302,5	300,2	298,8

Die eingeklammerten Zahlenwerte fallen aus dem ganzen Verlauf der Alterungskurven $\mathfrak{J} = f$ (Zeit) — Parameter: effektive Feldstärke — ziemlich stark heraus, was möglicherweise nur auf eine unbekannte Störung zurückzuführen ist.

Legierung I 30c.

Magnetisierungswerte nach einer Alterung bei 110°.

Tabelle 8.

Vgl. Fig. 10 auf S. 69

Feldstärke $\mathfrak{H}_t$	Alterungsstunden													
	0h	5h	15h	40h	70h	150h	*200h	250h	352h	450h	550h	754h	1000h	1500h
2,5	4,4	5,2	6,0	3,2	5,1	3,3	2,8	2,8	2,2	2,2	2,0	2,0	1,6	1,5
10	18,4	22,4	20,8	16,5	20,7	13,4	11,8	11,0	9,5	8,8	7,6	7,6	6,0	5,6
15	28,0	30,4	32,4	26,0	31.3	20,8	18,0	16,4	14,0	13,2	11,6	11,6	9,4	8,0
20	38,3	45,1	44,2	37,2	39,5	28,0	24,8	22,0	18,6	17,6	16,0	16,0	12,4	10,5
25	48,1	56,4	56,0	48,4	51,2	38,2	31,3	27,6	23,2	22,4	20,1	20,6	15,4	13,6
30	58,4	68,0	68,2	58,4	62,0	41,6	38,4	33,3	28,0	27,5	24,8	24,8	17,6	16,4
35	68,8	80,0	80,3	69,6	72,6	51,6	45,2	39.6	33,6	32,2	29,0	29,0	20,2	19,8
40	79,6	94,4	92,0	80,6	83,3	60,1	51,8	46,0	39,6	36,6	33,4	33,4	23,6	23,2
50	101,0	119,0	113,6	103,4	105,2	77,5	65,2	59,6	52,4	46,6	42,4	42,0	31,2	30,0
75	143,2	174,2	158,0	152,6	152,6	126,3	101,4	93,6	77,6	72,3	65,8	62,0	51,4	47,2
100	180,0	206,0	202,3	194,0	188,0	154,2	128,0	120,1	100,6	94,0	87,8	73,2	66,0	62,0
125	210,4	233,1	229,2	219,2	216,3	182,0	154,6	144,4	122,4	114,8	107,2	91,0	80,8	74,1
150	236,3	258,0	253,2	240,3	240,5	206,2	178,0	165,6	144,0	135,4	124,2	112,0	95,6	87,6
200	273,1	295,6	299,2	273,1	280,4	243,6	216,0	208,1	182,1	171,6	156,0	140,0	124,0	112,0
300	329,8	336,8	339,3	324,6	333,3	293,1	275,6	267,8	239,0	226,2	211,4	187,2	168,8	151,6
400	360,0	366,0	369,2	355,5	368,0	326,3	313,0	301,4	270,8	262,4	246,4	226,0	202,0	183,2
500	377.6	386.4	390,1	375,0	391,4	348,8	338,4	327,0	295,2	291,4	274,0	268,6	231,2	209,6
600	389,1	399.3	403,3	389,1	406,6	364,8	356,4	344,4	314,4	311,2	294,4	278,4	254,4	232,0
700	396,3	405,4	413,1	397,6	420,8	375,6	368,8	356,8	328,1	325,0	310,6	295,5	274,0	250,2
800	401,0	410,4	420,0	402,5	423,6	383,2	377,0	366,1	338,8	336,0	324,0	309,2	289,5	265,0
900	404,0	415,3	424,8	406,4	433,4	388,1	382,4	374,4	344,2	346,4	336,4	328,0	303,6	276,2
1000	405,3	419,0	428,3	408,0	440,3	393,0	387.1	382.2	353,0	356,4	348,8	330,8	317.0	285,6
Koerzitivkraft $\mathfrak{H}_c$ $[\mathfrak{H}_{max} = 1000]$						25	27	27,7	29	31	36	40	40	41

Probe I 35b.

Magnetisierungswerte nach einer Alterung bei 110°.

Tabelle 9.

Vgl. Fig. 11 auf S. 70

Feldstärke $\mathfrak{H}_t$	Alterungsstunden																
	0h	5h	10h	15h	25h	50h	75h	100h	150h	200h	300h	400h	500h	600h	800h	1000h	1500h
2,5	0,20	0,18	0,20	0,18	0,18	0,19	0,18	0,20	0,15	0,15	0,10	0,16	0,14	0,16	0,13	0,13	0,13
10	0,82	0,74	0,82	0,72	0,72	0,77	0,76	0,80	0,62	0,62	0,35	0,58	0,58	0,60	0,52	0,52	0,52
15	1,28	1,15	1,22	1,12	1,12	1,14	1,18	1,14	0,97	0,92	0,60	0,86	0,86	0,88	0,78	0,78	0,78
20	1,76	1,50	1,62	1,53	1,50	1,53	1,58	1,45	1,29	1,23	0,86	1,14	1,15	1,16	1,04	1,04	1,04
25	2,25	1,92	2,03	1,95	1,88	1,93	1,98	1,78	1,60	1,53	1,20	1,40	1,42	1,43	1,30	1,30	1,30
30	2,76	2,37	2,46	2,38	2,30	2,32	2,38	2,08	1,93	1,83	1,50	1,66	1,70	1,70	1,56	1,56	1,55
40	3,74	3,30	3,38	3,28	3,09	3,12	3,20	2,75	2,58	2,46	2,12	2,21	2,25	2,25	2,10	2,10	2,08
50	4,70	4,22	4,28	4,24	3,91	3,88	4,02	3,48	3,23	3,08	2,78	2,80	2,81	2,80	2,63	2,61	2,60
75	7,10	6,68	6,48	6,55	6,13	5,80	6,20	5,21	5,14	4,75	4,55	4,24	4,25	4,24	4,00	3,92	3,90
100	9,71	9,24	8,92	9,11	8,47	7,84	8,21	7,42	7,12	6,52	6,20	5,98	5,80	5,84	5,50	5,40	5,30
125	12,0	11,7	11,1	11,5	10,6	10,1	10,3	9,4	9,0	8,1	7,9	7,7	7,4	7,4	7,0	6,8	6,6
200	18,2	18,5	17,3	18,7	16,7	16,3	16,3	15,0	14.8	13,7	13,0	13,0	12,4	11,9	11,5	11,1	10,8
300	25,3	25,5	24,9	26,6	24,2	24,0	23,7	21,8	21,7	20,7	19,7	19,4	18,2	17,8	17,1	17,0	15,9
400	31,1	31,7	31,3	32,9	30,4	29,6	29,8	28,0	28,0	26,1	25,7	25,3	23,4	23,1	22,8	22,4	20,9
500	36,0	37,1	36,7	38,6	35,8	35,3	33,6	33,4	33,7	31,2	31,1	30,7	28,3	28,3	27,4	27,0	25,4
600	39,9	41,7	41,4	43,6	40,3	39,7	38,7	38,2	38,6	35,7	35,9	35,3	32,8	32,6	31,4	30,9	29,4
700	42,9	45,4	45,2	47,8	43,8	43,0	42,3	42,4	42,7	39,1	40,0	39,2	36,4	36,2	34,9	34,0	32,7
800	45,3	48,5	48,6	51,4	46,9	46,0	45,5	45,3	46,2	42,6	43,3	42,5	39,7	39,3	38,1	36,7	35,5
900	47,2	51,2	51,5	54,4	49,9	48,5	48,3	48,0	49,1	45,4	46,1	45,5	42,5	42,0	40,8	39,3	38,1
1000	48,9	53,4	53,7	57,1	53,0	50,7	50,5	50,6	51,7	48,0	48,7	48,2	45,3	44,5	43,3	42,2	40,7
Koerzitivkraft $\mathfrak{H}_c$ = $[\mathfrak{H}_{max}=1000]$	42	47	50	53	57	63	68	72	78	80	82	84	85	86	88	90	91

Legierung I 40c. Magnetisierungswerte nach einer Alterung bei 110°. Tabelle 10.

Vgl. Fig. 12 auf S. 70

Feldstärke $\mathfrak{H}_t$	Alterungsstunden														
	0^h	5^h	10^h	25^h	50^h	100^h	150^h	200^h	263^h	350^h	450^h	550^h	785^h	1000^h	1500^h
2,5	0,86	0,12	0,12	0,14	0,16	0,15	0,08	0,08	0,08	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09
10	2,80	0,48	0,51	0,50	0,60	0,51	0,35	0,35	0,25	0,34	0,28	0,28	0,26	0,26	0,25
15	3,55	0,78	0,78	0,74	0,91	0,80	0,60	0,60	0,44	0,56	0,50	0,50	0,49	0,49	0,48
20	4,34	1,16	1,06	1,00	1,20	1,10	0,90	0,90	0,67	0,78	0,70	0,70	0,70	0,69	0,68
25	4,94	1,57	1,34	1,32	1,54	1,43	1,24	1,24	0,94	1,04	1,00	1,00	0,98	0,98	0,96
30	5,43	2,08	1,62	1,68	1,88	1,72	1,58	1,58	1,26	1,32	1,32	1,32	1,30	1,28	1,27
35	5,88	2,60	1,94	2,06	2,28	2,04	1,95	1,95	1,62	1,62	1,64	1,69	1,69	1,68	1,67
40	6,20	3,20	2,30	2,46	2,70	2,43	2,32	2,32	2,04	1,96	2,00	2,01	2,00	1,98	1,97
50	6,96	4,34	2,96	3,24	3,66	3,14	3,08	3,08	2,88	2,76	2,80	2,84	2,84	2,82	2,63
75	8,74	7,16	4,90	5,34	6,04	5,23	4,92	4,92	5,06	5,00	4,82	4,83	4,82	4,80	4,31
100	10,2	9,8	6,4	8,1	8,1	7,9	6,7	6,7	7,2	7,2	6,7	6,7	6,7	6,7	6,5
125	14,0	12,0	8,1	10,5	10,0	10,2	9,0	9,2	9,2	9,0	8,5	8,4	8,3	8,3	8,1
150	16,6	14,4	9,9	13,0	11,9	12,4	10,8	10,8	11,2	10,7	10,3	10,3	9,9	9,8	9,6
200	21,4	19,0	12,7	17,2	15,5	16,6	14,1	14,7	15,3	14,5	13,9	13,5	13,1	13,0	12,5
300	28,3	26,7	17,6	23,7	21,1	24,1	20,5	21,1	22,7	22,1	20,6	19,4	19,0	18,9	18,1
400	34,0	33,6	21,8	29,0	25,6	29,8	25,8	25,7	28,8	27,5	26,5	25,0	24,0	23,8	23,4
500	39,6	39,4	25,4	33,3	28,7	34,8	30,1	29,4	33,3	32,3	31,5	29,7	28,5	28,1	27,9
600	43,8	43,5	28,7	36,2	31,5	39,0	33,2	33,4	36,4	35,9	35,2	33,0	31,4	31,0	30,5
700	47,2	46,7	31,1	38,7	32,7	41,8	35,2	36,5	39,2	39,0	38,5	34,8	34,0	33,1	32,6
800	50,0	48,9	32,4	40,3	33,3	43,9	36,5	38,9	41,2	41,3	40,6	35,8	36,4	34,5	34,3
900	52,0	50,6	33,2	41,2	33,4	45,4	37,7	40,5	42,3	43,0	42,3	36,6	38,1	35,5	35,4
1000	53,4	52,2	33,8	41,6	33,5	46,6	38,8	41,7	42,6	44,6	44,2	37,3	39,2	36,8	36,5
Koerzitivkraft $\mathfrak{H}_c$ [$\mathfrak{H}_{max} = 1000$]						65	78	86	94	100	104	106	110	111	112

Vgl. die Fußnote unter Tabelle 7 auf S. 45.

Probe I 50b. Magnetisierungswerte nach einer Alterung bei 110°. **Tabelle 11.**

Unbearbeitet, daher nur angenäherte Werte.

Feldstärke $\mathfrak{H}_t$	Alterungsstunden															
	0h	5h	10h	15h	25h	50h	75h	100h	150h	200h	300h	400h	500h	600h	800h	1000h
2,5	0,5	0,7	1,1	0,9	0,8	0,8	0,7	0,9	0,8	0,8	0,8	1,2	0,9	0,9	0,9	0,9
10	2,0	2,6	4,4	3,5	3,5	3,3	3,1	3,6	3,8	3,6	3,6	4,5	3,5	3,5	3,5	3,5
20	4,5	5,0	7,8	6,2	6,5	6,2	6,4	7,0	7,6	7,5	7,2	8,3	6,9	6,7	6,6	6,6
25	5,8	6,1	9,1	7,4	7,9	7,4	8,2	8,5	9,1	9,0	8,8	9,6	8,4	8.2	7,9	7,9
30	7,0	7,0	10,2	8,4	8,7	8,5	9,7	9,8	10,6	10,2	10,2	10.7	9,8	9,6	9.0	9,0
35	8,2	7,8	11,2	9,2	10,3	9,5	11,3	11,1	11,4	11,4	11.3	11,7	11,2	10,7	10,2	10,1
40	9,3	8,6	12,1	10,0	11.3	10,4	12,1	12,2	12,4	12,4	12,4	12,7	12,4	11,8	11,2	10.9
50	11,2	9,7	13,4	11,3	12,7	11,9	13,6	13,7	14,0	14,1	14,1	14,3	14,0	13,5	13,1	12,5
75	14,7	11,9	15,6	13,8	14,5	15,1	16,2	15,6	15,8	16,8	17,3	16,7	16,8	16,3	16,2	15,7
100	15,4	13,5	17,0	16,2	16,3	16.6	18,0	16,3	17,0	18,5	19,7	18,6	19,2	18,0	17,4	16,7
125	16,0	14,6	19,6	17,1	18,2	17,7	18,7	17,3	17,9	19,7	20,7	19,7	21,0	19,2	18,6	17,7
150	16,6	15,2	20,4	17,8	19,7	18,5	19,5	18,0	18,7	20,7	22,1	20,5	22,3	20,3	19,5	18,5
200	17,4	16,1	22,1	18,2	21,5	19,4	19,7	18,9	20,3	22,4	24,2	21,7	24,1	22,0	20,8	19,7
300	18,8	16,6	24,5	19,3	23,7	20,2	20,1	19,7	22,4	24,7	27,6	23,5	25,8	23,7	22,1	20,9
400	19,8	17,0	26,2	19,7	25,2	20,6	20,2	20,2	23,5	26,0	32,2	25,0	26,7	24,5	22,7	21,5
500	20,8	17,2	27,7	20,1	26.5	20,9	20,3	20,3	24,2	26,7	—	26,2	27,1	24.8	23,1	21.9
600	21,5	17,4	28,9	20,4	27.4	21,2	20,3	20,3	24,7	27,1	—	26,9	27,4	25,0	23,5	22,1
700	22,2	17.4	29,9	20,6	27,8	21,5	20,3	20,4	25,0	27,2	—	27,4	27,6	25,1	23.7	22,2
800	22,6	17.5	30.6	20,7	28,2	21,8	20,3	20,4	25,2	27,4	—	27,7	27,7	25,1	23,8	22,3
900	23,2	17,6	30,9	20.8	28,4	21,9	20,4	20,4	25,3	27,5	—	27,8	27,8	25,2	23,8	22,3
1000	23,9	17,6	31.3	20,9	28,7	22,0	20,4	20,4	25,4	27,7	—	27,9	28,0	25,2	23,9	22,4

Probe II 20 b.

Magnetisierungswerte nach einer Alterung bei 110°.

Tabelle 12.

Vgl. Fig. 13 auf S. 71

Feldstärke $\mathfrak{H}_t$	Alterungsstunden																
	0^h	5^h	10^h	15^h	25^h	50^h	75^h	100^h	146^h	195^h	300^h	400^h	500^h	600^h	800^h	1000^h	1500^h
2,5	0,08	0,08	0,07	0,07	0,065	0,07	0,07	0,06	0,06	0,06	0,06	0,07	0,07	0,07	0,05	0,04	0,04
10	0,27	0,24	0,31	0,28	0,24	0,27	0,23	0,26	0,26	0,26	0,26	0,29	0,27	0,27	0,19	0,18	0,18
15	0,41	0,35	0,43	0,42	0,37	0,41	0,32	0,32	0,37	0,37	0,36	0,42	0,30	0,30	0,28	0,28	0,27
20	0,55	0,47	0,62	0,56	0,49	0,53	0,43	0,57	0,55	0,51	0,50	0,55	0,52	0,52	0,40	0,37	0,36
25	0,69	0,59	0,78	0,70	0,62	0 66	0,53	0,71	0,68	0,64	0,63	0,68	0,63	0,63	0,50	0,47	0,46
30	0,83	0,72	0,95	0,83	0,74	0,79	0,65	0,84	0,83	0,76	0,75	0,79	0,73	0,73	0,60	0,57	0,55
40	1,12	0,97	1,28	1,10	0,99	1,05	0,89	1,07	1,08	0,99	0,98	1,01	0,92	0,92	0,81	0,76	0,75
50	1,39	1,21	1,56	1,37	1,09	1,31	1,14	1,26	1,28	1,21	1,19	1,21	1,12	1,10	1,02	0,95	0,93
75	2,07	1,83	2,16	1,99	1,83	1,93	1,80	1,71	1,79	1,79	1,69	1,69	1,63	1,57	1,51	1,43	1,39
100	2.80	2,45	2,75	2,51	2,40	2,51	2,51	2,10	2.25	2,25	2,10	2,11	2,10	2,05	1,98	1,86	1,78
125	3,46	3,10	3,40	3,13	3,00	3,10	3,10	3,70	2,76	2,73	2,56	2,63	2,51	2,46	2,33	2,36	2,20
200	5,7	5,05	5,50	5,10	5,13	5,10	5,00	4,70	4,30	4,60	4,36	4,33	4,20	4,10	4,06	4,03	3,75
300	9,4	8,20	7,50	8,20	8,23	8,30	8,10	8,00	7,06	8,03	7,46	7,23	7,13	6,93	6,73	6,16	6,10
400	12,8	11,0	11,6	11,7	11,4	11,5	11,3	11,4	10,2	11,6	10,7	10,3	10,3	9,8	9,61	8,93	8,83
500	15,9	13,6	14,8	14,9	14,4	14.4	14,2	14,6	13,0	14,5	13,8	13,7	13,3	12,5	12,2	11,4	11,3
600	18,5	16,3	17,8	17,4	16,9	16,9	16,5	17,3	15,1	16,6	16,1	15,7	15,7	14,8	14,3	13,5	13,4
700	20,7	18,6	19,7	19,4	18,6	18,9	18,7	19,3	16,9	18,9	17,9	17,5	17,4	16,7	16,1	15,2	15,0
800	22,1	20,3	21,4	20,9	20,0	20,7	20,5	21,0	18,3	20,6	19,5	19,1	18,9	18,3	17,7	16,6	16,3
900	23,4	21,3	22,9	22,1	21,2	22,0	21,8	22,3	19,3	21,8	20,9	20,5	20,2	19,7	19,0	17,6	17,5
1000	24,6	21,8	24,3	23,1	22,4	23,2	22,8	23,5	20,2	23,1	22,3	21,9	21,3	20,9	20,2	18,6	18,5
Koerzitivkraft $\mathfrak{H}_c =$ $[\mathfrak{H}_{max} = 1000]$	155	162	167	170	175	181	184	186	190	192	190	184	180	180	180	180	181

Probe II 30 b.

Magnetisierungswerte nach einer Alterung bei 110°.

Tabelle 13.

Vgl. Fig. 14 auf S. 72

Feldstärke $\mathfrak{H}_t$	Alterungsstunden																
	0h	5h	10h	15h	25h	50h	75h	100h	150h	200h	300h	400h	500h	600h	800h	1000h	1500
2,5	0,7	0.5	0,4	0,5	0,4	0,5	0,5	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2
10	2,9	2,3	1,9	2,0	1,8	1,8	1,8	1,6	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,2	1,3	1,0	1,0
15	4,3	3,4	3,0	3,1	2,8	2,7	2,7	2,3	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	1,8	1,9	1,6	1,5
20	5,8	4,6	4,2	4,2	3,8	3,6	3,7	3,1	2,7	2,7	2,7	2.8	2,8	2,4	2,5	2,1	2,0
25	7,3	5,9	5,4	5,3	4,9	4,6	4,5	3,9	3,4	3,4	3,4	3,4	3,3	3,0	3,0	2,7	2,5
30	8,8	7,1	6,7	6,5	6,1	5,5	5,4	3,8	4,1	4,1	4,1	4,2	4,0	3,6	3,5	3,2	3,1
40	11,8	9,5	9,2	8,8	8,4	7,5	7,2	6,7	5,7	5,7	5,6	5,7	5,2	4,9	4,5	4,3	4,1
50	14,8	12,0	11,7	11,3	10,9	9,4	9,1	8,6	7,4	7,2	7,1	7,0	6,6	6,2	5,6	5,4	5,1
75	21,9	18,7	18,0	17,6	16,9	14,7	14,0	13,3	11,9	11,2	10,8	10,6	10,0	9,6	9,0	8,6	7,8
100	28,4	25,1	24,8	23.6	22,7	20,5	18,8	18,2	16,2	15,5	14,8	14.4	13,5	13,2	12,6	12,0	10,5
125	34,1	30,6	30,2	29,0	28,2	25,1	23,6	22,9	20,6	19,4	18,7	18,0	17,0	16,5	15,9	14,8	13,5
200	48,1	44,8	43,8	42,9	41,6	38,2	35,6	35,3	32,0	30,4	29,6	28,5	27,0	25,2	25,1	23,6	21,6
300	62,0	59,8	58,8	57,2	56,4	52,2	49,6	48,7	44,8	42,8	42,1	40,0	38,5	36,2	36,3	34,2	31,5
400	72,1	70,3	69,8	67,5	67,0	62,6	59,7	59,3	54,8	52,2	52,1	49,5	48,2	46,8	46,3	43,3	39,6
500	80,5	79,4	78,5	76,1	75,7	71,0	68,5	68,2	63,1	59,8	60,3	57,6	56,1	54,6	53,4	50,3	46,4
600	86,8	86,4	85,2	82,7	82,5	77,7	75,3	75,2	69,4	65,9	67,1	64,0	62,4	60.6	58,6	55,7	52,1
700	91,7	92,2	90,6	87,7	87,7	83,3	80,4	80,7	74,2	70,8	72,4	69,4	67,7	65,7	63,0	60,2	57,0
800	95,7	98,0	95,1	92,0	92,0	87,7	84,9	85,5	78,5	75,0	76,8	73,8	72,0	70,0	67,0	64,3	61,0
900	99,1	102,6	99,0	95,6	95,6	91,4	88,8	89,6	82,3	78,4	80,6	77,4	75,8	73,3	70,6	66,1	64,6
1000	102,4	107,4	102,6	99,0	99,2	94,8	92,5	93,3	85,7	81,3	84,3	80,7	79,3	77,0	74,0	71,6	68,0
Koerzitivkraft $\mathfrak{H}_c =$ $[\mathfrak{H}_{max}=1000]$	29	33	37	40	45	54	60	65	71	74	79	80	81	81	82	83	84

Probe II 40 b.

Magnetisierungswerte nach einer Alterung bei 110°.

Tabelle 14.
Vgl. Fig. 15 auf S. 73

Feldstärke $\mathfrak{H}_t$	Alterungsstunden																
	0h	5h	10h	15h	25h	50h	75h	100h	146h	200h	300h	400h	500h	600h	800h	1000h	1500h
2,5	0,16	0,15	0,06	0,06	0,05	0,04	0,04	0,04	0,05	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
10	0,59	0,53	0,24	0,24	0,20	0,20	0,18	0,19	0,20	0,20	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,15	0,14
15	0,80	0,72	0,35	0,36	0,31	0,31	0,29	0,30	0,30	0,30	0,30	0,28	0,28	0,28	0,28	0,22	0,20
20	0,98	0,87	0,48	0,49	0,43	0,43	0,41	0,41	0,41	0,39	0,40	0,36	0,36	0,36	0,36	0,30	0,27
25	1,14	0,99	0,60	0,62	0,53	0,53	0,52	0,51	0,51	0,49	0,50	0,45	0,45	0,45	0,45	0,37	0,35
30	1,30	1,09	0,73	0,76	0,62	0,62	0,64	0,62	0,61	0,59	0,60	0,54	0,54	0,54	0,54	0,45	0,43
40	1,62	1,25	1,00	1,06	0,83	0,81	0,87	0,82	0,82	6,80	0,82	0,72	0,72	0,72	0,72	0,61	0,59
50	1,95	1,39	1,30	1,34	1,03	1,02	1,13	1,00	1,02	1,00	1,02	0,88	0,87	0,87	0,87	0,78	0,75
75	2,67	1,83	2,10	2,05	1,60	1,61	1,75	1,41	1,49	1,58	1,52	1,36	1,31	1,27	1,27	1,22	1,18
100	3,26	2,39	2,85	2,83	2,21	2,25	2,38	1,78	1,91	2,14	2,03	1,90	1,80	1,78	1,78	1,66	1,53
125	3,80	2,93	3,32	3,38	2,78	2,82	3,00	2,24	2,48	2,66	2,55	2,40	2,29	2,30	2,24	2,08	1,90
200	5,24	4,34	4,76	4,89	4,23	4,27	4,60	3,42	4,02	4,03	4,06	3,98	4,00	3,85	3,63	3,45	3,27
300	6,80	5,74	6,44	6,64	5,80	5,80	6,30	4,64	5,42	5,72	5,86	5,78	6,08	5,70	5,50	5,26	5,01
400	8,02	6,70	7,98	8,06	6,94	6,98	7,60	5,58	6,40	6,95	7,02	6,92	7,60	7,00	6,80	6,60	6,30
500	8,90	7,30	9,00	9,00	7,68	7,68	8,42	6,35	7,00	7,16	7,75	7,78	8,71	8,06	7,81	7,52	7,30
600	9,50	7,66	9,71	9,51	8,08	8,08	8,98	6,97	7,30	8,31	8,23	8,50	9,64	9,10	8,66	8,30	7,98
700	9,84	7,78	10,2	9,90	8,26	8,27	9,38	7,44	7,54	8,72	8,52	9,00	10,3	9,80	9,10	8,80	8,40
800	10,0	7,86	10,5	10,2	8,38	8,40	9,60	7,82	7,68	9,04	8,68	9,34	10,7	10,3	9,42	9,11	8,68
900	10,1	7,92	10,7	10,5	8,48	8,46	9,72	8,12	7,72	9,30	8,78	9,54	11,0	10,5	9,63	9,34	8,88
1000	10,1	7,96	10,8	10,7	8,58	8,52	9,81	8,40	7,76	9,50	8,96	9,70	11,3	10,6	9,82	9,51	8,86

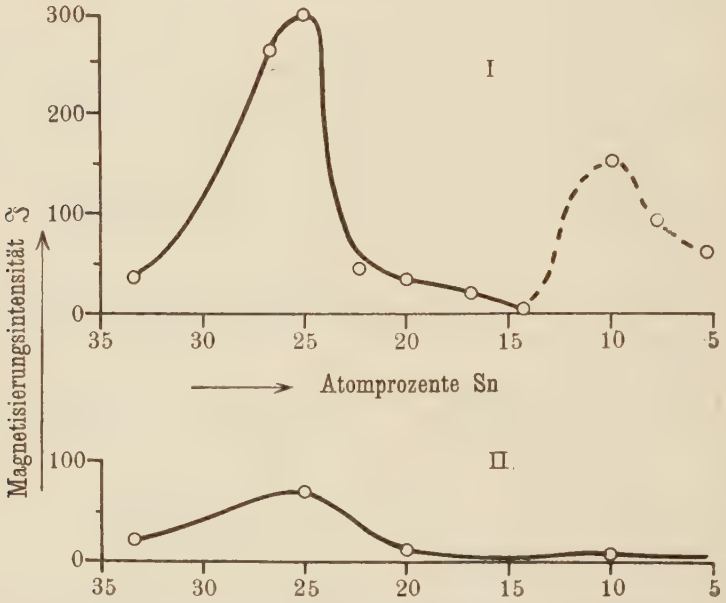
Probe II 90 b. Magnetisierungswerte nach einer Alterung bei 110°. **Tabelle 15.**

Feldstärke $\mathfrak{H}_t$	Alterungsstunden										
	0h	5h	10h	15h	25h	50h	75h	100h	146h	200h	300h
2,5	0,17	0,25	0,25	0,33	0,20	0,17	0,16	0,16	0,16	0,23	0,25
10	0,74	1,00	1,15	1,29	0,92	0,78	0,90	0,90	0,89	1,10	1,08
15	1,14	1,43	1,83	1,85	1,37	1,25	1,39	1,41	1,39	1,57	1,55
20	1,56	1,82	2,40	2,31	1,76	1,71	1,77	1,82	1,82	1,96	1,95
25	1,98	2,15	2,80	2,67	2,08	2,06	2,09	2,16	2,19	2,33	2,28
30	2,36	2,45	3,11	2,98	2,37	2,36	2,38	2,47	2,52	2,65	2,60
40	3,01	3,01	3,62	3,48	2,88	2,85	2,84	2,97	3,13	3,14	3,13
50	3,46	3,47	4,04	3,92	3,31	3,24	3,15	3,21	3,44	3,58	3,55
75	4,19	4,03	4,86	4,80	4,07	3,91	3,71	4,26	4,37	4,24	4,26
100	4,64	4,62	5,67	5,38	4,48	4,37	4,27	4,79	4,74	4,60	4,74
125	5,00	4,95	5,98	5,62	4,80	4,70	4,68	5,06	5,10	4,82	5,04
200	5,70	5,70	6,67	6,24	5,62	5,40	5,26	5,54	5,70	5,58	5,63
300	6,26	6,46	7,46	6,89	6,56	6,34	5,76	5,88	6,28	6,18	6,28
400	6,84	7,06	8,14	7,34	7,30	6,78	6,10	6,14	6,71	6,53	6,84
500	6,89	7,44	8,70	7,68	7,84	7,20	6,35	6,30	6,91	6,82	7,28
600	7,11	7,70	9,16	7,90	8,14	7,45	6,51	6,39	7,04	7,04	7,58
700	7,28	7,93	9,50	8,02	8,40	7,58	6,62	6,47	7,10	7,11	7,82
800	7,42	8,18	9,84	8,10	8,66	7,68	6,74	6,53	7,16	7,14	7,98
900	7,44	8,38	10,18	8,14	8,88	7,80	6,84	6,56	7,18	7,15	8,16
1000	7,50	8,56	10,44	8,14	9,10	7,92	6,95	6,58	7,20	7,16	8,38

2. Die Abhängigkeit der Magnetisierung von der chemischen Zusammensetzung.

Die Versuchsergebnisse sollen nun von zwei Seiten aus betrachtet werden, einmal von der chemischen Seite, das andere Mal sollen die physikalischen Erscheinungen, wie sie sich beim Altern der Zinn-Manganbronzen ergeben haben, besprochen werden.

Fig. 6



Die Sättigungsmagnetisierung ($\mathfrak{S} = 1000$) der Zinn-Manganbronzen in Abhängigkeit von deren chemischer Zusammensetzung. Kurve I entspricht der Konzentrationsreihe des 30 proz. Mangankupfers, Kurve II derjenigen des 15 proz. Mangankupfers.

Um die Abhängigkeit der Magnetisierung von der chemischen Zusammensetzung zu untersuchen, müssen die Sättigungswerte der Magnetisierung benutzt werden, denn nur diese geben ein reines Maß für die Ausbildung der ferromagnetischen Elementarmagnete. Bei kleinen und mittleren Feldern sind ja zu ihrer Richtung noch innere Kräfte zu überwinden. Nun zeigt aber ein Blick auf die Tabellen 5—15, S. 43—53, daß die Sättigungswerte beim Altern nicht stetig bis zu einem stabilen Endwerte anwachsen, wie dies ja bei den Aluminium-Manganbronzen

der Fall ist. Vielmehr schwanken mit zunehmender Alterungsdauer die Magnetisierungswerte bei einer Feldstärke von 1000 Gauß beträchtlich hin und her und nehmen schließlich asymptotisch ab. Ich habe deshalb die Sättigungswerte, wie sie sich nach 1500 Stunden Alterung ergeben haben, benutzt, um die Abhängigkeit der Magnetisierung von der chemischen Zusammensetzung darzustellen. Wie auch die Tabellen zeigen, ist bei einer Feldstärke von 1000 Gauß zwar noch keine wirkliche Sättigung erreicht, doch sind wir hier derselben schon so nahe, daß wir aus den vorliegenden Daten sicherlich ein nahezu richtiges Bild erhalten. In Figur 6 sind als Abszissen Atomprozente Zinn gewählt, während die Ordinaten den sozusagen stabilen Endwerten der Sättigungsmagnetisierung nach 1500 Stunden Alterung bei 110° C entsprechen. Die obere Kurve gilt für die I., die untere für die II. Konzentrationsreihe. Jeder Punkt auf der Abszissenachse stellt dann eine Legierung von bestimmter chemischer Zusammensetzung dar, die man aus der Tabelle 4, S. 41 entnehmen kann. Wie die Figur zeigt, liegt in beiden Kurven das erste, stark ausgeprägte Maximum bei den Legierungen mit 25 Atomprozenten Zinn; in jeder Konzentrationsreihe entspricht nach der Tabelle 4 auf S. 41 diesen Legierungen das Atomverhältnis $Sn\,M_3$.

In der Tat haben also meine Versuche ergeben, daß bei den Zinn-Manganbronzen das Maximum der Magnetisierung bei den Legierungen mit der Zusammensetzung $Sn\,M_3$ liegt. Damit ist Heuslers Theorie experimentell bestätigt.

Wie eingangs erwähnt, sind auch von Haupt[1]) Zinn-Manganbronzen untersucht worden. Seine Ergebnisse lassen sich nun den meinigen anschließen. Es sei jedoch das eine bemerkt, daß Haupt nur bis zu Feldstärken von 150 Gauß gemessen hat, während ich bei meinen Messungen stets bis zu 1000 Gauß Feldstärke ging. Bei 150 Gauß war aber die Magnetisierung von einer Sättigung noch ziemlich stark entfernt. Ich habe deshalb die Magnetisierungswerte nach den von Haupt veröffentlichten Angaben bis zu 1000 Gauß Feld-

1) E. Haupt, Marburger Gesellschaftsschrift 1904 a. a. O. **13**, S. 262 und Tabelle S. 267.

stärke zu extrapolieren versucht. Hierbei habe ich allerdings einige Freiheit walten lassen müssen. In Figur 6 ist aus diesem Grunde das den Hauptschen Werten entsprechende Kurvenstück gestrichelt gezeichnet. Wendet man die in vorliegender Arbeit benutzte Bezeichnungsweise der Legierungen auf die von Haupt untersuchten Güsse an, so läßt sich für die letzteren noch folgende Zusatztabelle aufstellen:

Guß Nr.	Atomverhältnis	Gewichtsverhältnis in % *Sn* : *Mn* : *Cu*	Atomverhältnis in % *Sn* : *Mn* : *Cu*
	I. Konzentrationsreihe.		
9	$Sn_1 M_6$	24,6 : 22,8 : 52,6	14,3 : 28,6 : 57,1
13	$Sn_1 M_9$	17,9 : 24,8 : 57,3	10,0 : 30,0 : 60,0
10	$Sn_1 M_{12}$	14,0 : 25,9 : 60,1	7,7 : 30,8 : 61,5
11	$Sn_1 M_{18}$	9,8 : 27,2 : 63,0	5,3 : 31,6 : 63,8

Man sieht nun in der Figur 6, daß mit fallendem Zinngehalt sich zwei Maxima der Magnetisierung ausbilden. Das erste ist sehr steil, es liegt in der I. Konzentrationsreihe bei einem Zinngehalt von 25 Atomprozenten oder 39,6 Gewichtsprozenten Zinn. A. D. Roß uud R. C. Gray[1]) fanden unter den 6 von ihnen untersuchten Zinnbronzen diejenige mit 38% *Sn* als die am stärksten magnetisierbare. Diese Legierung war also zufälligerweise vom eigentlichen Maximum nicht weit entfernt.

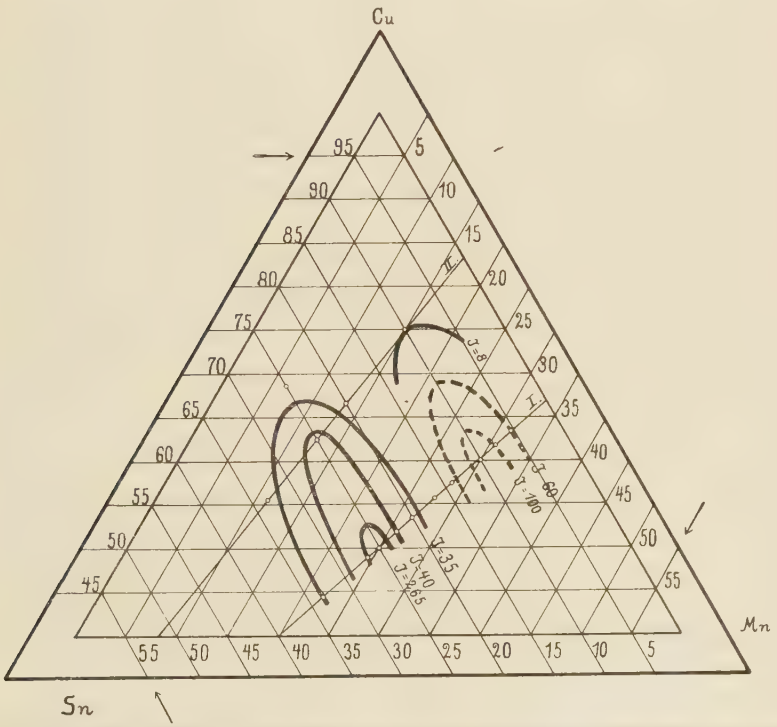
Eine weitere auffallende Erscheinung, die sich bisher nur bei den Zinn-Manganbronzen gezeigt hat, ist das Auftreten von zwei Maxima der Magnetisierung. Auch in der II. Konzentrationsreihe läßt sich das zweite schwächere Maximum feststellen.

Will man nun die Abhängigkeit der Magnetisierung von der chemischen Zusammensetzung nicht nur in einzelnen Konzentrationsreihen, sondern allgemein für alle Legierungen darstellen, die aus den 3 Komponenten Zinn, Mangan und Kupfer möglich sind, so bedient man sich besser des sog. van't Hoffschen Dreiecks. Es ist ganz analog dem Newtonschen Farbendreieck. Von der Spitze (100 % *Cu*) anfangend wird das Dreieck mit Parallelen zur gegenüberliegenden Seite (0% *Cu*) durchzogen und an dem einen Rande (in Fig. 7 für *Cu* am

1) A. D. Roß u. R. C. Gray, Edingburgh Proc. **31**, p. 85—99, 1910.

linken) die Werte des Atomprozentgehaltes angeschrieben. Die nicht gezeichnete Basisecke unten links stellt 100% *Sn*, unten rechts 100% *Mn* dar. In ganz entsprechender Weise verlaufen auch zu den beiden anderen Dreiecksseiten Parallelen, die den verschiedenen Prozentgehalten an *Mn* bzw. *Sn* entsprechen. Dabei stellt also jeder Punkt im Dreieck eine Legierung von ganz bestimmter Zusammensetzung dar. Fig. 7 ist nur die obere Ecke des van't Hoffschen Gesamtdreiecks gezeichnet. Man denke sich nun für jede Legierung den nach 1500stündiger Alterung bei 110° erreichten, stabilen Endwert der zugehörigen Sättigungsmagnetisierung als Lot auf dem Papier in dem entsprechenden Punkte des Dreiecks errichtet. Es entsteht so eine Art „magnetisches Gebirge". In der Figur sind die Punkte

Fig. 7



Darstellung der Magnetisierung ($\mathfrak{J} = 1000$) der Zinn-Manganbronzen in Abhängigkeit von deren chemischer Zusammensetzung (Atomprozente) im van't Hoffschen Dreieck. Die Linien I und II entsprechen den Konzentrationsreihen des 30 bezw. 15 proz. Mangankupfers.

gleicher Sättigungsmagnetisierung untereinander verbunden, entsprechend den „Isohypsen", wie sie in geographischen Karten eingetragen sind. Leider habe ich aber diese Linien nicht so zeichnen können, daß ihr Abstand einen gleichen Unterschied in der Magnetisierung ausmacht. Da das Maximum zu steil ist, würden dort diese Höhenlinien zu nahe beieinander fallen; auch waren mir zu wenig Punkte gegeben. Ich habe mich deshalb darauf beschränkt, nur einige Höhenlinien zu zeichnen und für jede die entsprechende Sättigungsmagnetisierung anzugeben. Die größte erreichbare Magnetisierung wird dann durch die Kammlinie des Höhenzuges dargestellt. Diese verläuft längs der Linie, auf der sämtliche Legierungen mit 25 Atomprozenten Zinn liegen. Der seitlichste Punkt links der Kammlinie entspricht der Verbindung $Sn\ Cu_3$. Diese ist in der chemischen Literatur bekannt. Die Kammlinie steigt dann mit zunehmendem Mangangehalt allmählich an, erreicht ihr Maximum vielleicht an dem Punkt, welcher der Legierung mit der Zusammensetzung $Sn\ Mn\ Cu_2$ entspricht und fällt dann möglicherweise wieder bis zum anderen Ende bei $Sn\ Mn_3$. Diese Legierung ist als Verbindung noch nicht bekannt. Rechts von dieser hohen Kammlinie entsprechend 25 Atomprozenten *Sn* würde dann eine weitere niedrigere Kammlinie liegen gemäß dem zweiten schwächeren Maximum, das den Hauptschen Werten entspricht (in der Figur gestrichelt gezeichnet). Außerdem sind in der Figur nach zwei Geraden I und II zu sehen. Diese stellen die beiden Konzentrationsreihen des 30- und 15gewichtsprozentigen Mangankupfers dar. Ihre Lagen sind genau bestimmt: Einmal müssen sie durch die linke untere Ecke des van t Hoffschen Gesamtdreiecks gehen, denn dieser Punkt stellt eine Legierung von 100% *Sn* dar, Mangan und Kupfer sind also nicht darin enthalten. Andererseits muß für 0% *Sn* in der I. Konzentrationsreihe die Schnittlinie durch den Teilpunkt der Manganseite gehen, der dem 30gewichtsprozentigen Mangankupfer entspricht. Hiernach stellt also die schon erwähnte Figur 6 die zwei Schnitte längs dieser beiden Schnittlinien durch das „Gebirge" dar.

Auf eine Analogie zu den Aluminium-Manganbronzen sei hier noch hingewiesen. Stellt man nämlich in gleicher Weise die

Abhängigkeit der Magnetisierung von der chemischen Zusammensetzung auch für die Aluminium-Manganbronzen mit Hilfe des van't Hoffschen Dreiecks dar (nach den Daten von Preußer[1]) und Haupt) und benutzt ebenfalls Atomprozente, so liegt hier genau wie bei den Zinn-Manganbronzen die Gipfellinie des „Gebirgszuges" an derselben Stelle des Dreiecks, nämlich bei 25 Atomprozenten Aluminium.

3. Die physikalischen Erscheinungen.

a) Bestimmung der Umwandlungspunkte.

Wie Take gezeigt hat, hängt die günstigste Alterungstemperatur von der Lage des primären magnetischen Umwandlungspunktes ab, wie er vor Beginn einer Alterung gefunden wird und unter Umständen auch von der maximalen Höhe der stabilen, endgiltigen Umwandlungstemperaturen, wie sie z. B. durch äußerst langsame Abkühlung von Rotglut aus erhalten wurden. Es galt also zunächst bei allen Legierungen den primären Umwandlungspunkt zu bestimmen. Da mir hierzu bei den meisten Proben nur kurze Bruchstücke zur Verfügung standen, benutzte ich größtenteils die magnetoskopische Methode.

Den primären Umwandlungspunkt fand ich dann zwischen 240 und 285° C[2]).

Um einen Anschluß an die Untersuchungen zu haben, die Take[3]) an Aluminium-Manganbronzen angestellt hat, versuchte ich 3 Zinn-Manganbronzen von 600° in Wasser von Zimmertemperatur abzuschrecken. Dabei zerfielen leider die Legierungen in viele kleine Bruchstücke. Das war wohl auch vorauszusehen, da alle von mir untersuchten Proben sehr spröde waren. Um sie in die für die magnetometrische Methode notwendige Kreiszylinderform zu bringen, war ein Drehen auf der Drehbank unmöglich. Die Legierungen mußten sämtlich gefeilt werden, doch auch hierbei zerbrachen vielfach die Stäbe.

Bei 3 Legierungen (I 27,5 b, I 30 b, I 50 a) bestimmte ich nun den Umwandlungspunkt nach dem Abschrecken. Hierbei zeigte

1) W. Preußer, a. a. O. S. 72—77.

2) Roß und Grey fanden die magnetischen Umwandlungspunkte ihrer Zinnbronzen zwischen 225° und 275° C.

3) E. Take, a. a. O.

es sich, daß dieser nur um wenige Grad vom ursprünglichen entfernt lag. Daraus folgt also, daß die Proben durch das Abkühlen in der Gußform nur sehr wenig natürlich gealtert waren.

Näheres gibt die Tabelle 16, in welcher „*M*“ magnetoskopische, „*B*“ ballistische Bestimmung des magnetischen Umwandlungspunktes bedeutet.

Bei den Aluminium-Manganbronzen hatte langsames Abkühlen von hohen Temperaturen aus zur Folge, daß der Umwandlungspunkt ganz bedeutend heraufrückte, bei äußerst langsamer Abkühlung bis zum Maximum der stabilen endgiltigen Umwandlungstemperaturen abgeschreckter Proben. Um dies nun auch an den Zinn-Manganbronzen zu untersuchen, erhitzte ich eine Probe (I 40a) in einem besonders hierfür konstruierten elektrischen Ofen bis auf 800° und ließ sie sich dann langsam während 30 Stunden abkühlen. Nach dem Erkalten fand ich jedoch den Umwandlungspunkt bei fast derselben Temperatur wie zuvor.

Tabelle 16.

Umwandlungspunkte der untersuchten Legierungen.

Guß Nr.	Ursprünglicher Umwandlungspunkt	Umwandlungspunkt nach dem Abschrecken	Umwandlungspunkt nach langsamem Erkalten von 800° aus	Umwandlungspunkt nach 1500 Stunden Alterung bei 110°
I 20 a, b	264° *M*			300° *M*
I 27,5 a, b, c	275° *B*	280° *M*		304° *B*
I 30 a, b, c	264° *B*	268° *M*		306° *B*
I 35 a, b	284° *B*			300° *M*
I 40 a, b, c	262° *M*		265° *M*	300° *M*
I 50 a, c	285° *M*	264° *M*		
II 20 a, b	258° *M*			
II 30 a, b	265° *M*			304° *B*
II 40 a, b	242° *M*			305° *M*
II 90 a	248° *M*			
III 30 a	264° *M*			

b) Alterungserscheinungen.

α) Vorversuche.

Da der primäre magnetische Umwandlungspunkt der untersuchten Zinn-Manganbronzen oberhalb von 240° lag, so müßte — nach Analogie der Aluminium-Manganbronzen — eine Temperatur unter 240° für das Altern die vorteilhafteste sein, um alle Einzelheiten der Strukturumlagerungen deutlich zu erkennen. Ich stellte deshalb einige Vorversuche mit Probe I 40 b an; diese alterte ich 50 Stunden bei 140° (in siedendem Xylol) und bestimmte die jungfräuliche Kurve nach 0, 1, 2, 3, 5, 10, 20 und 50 Stunden Alterung. Als sich hierbei keine Zunahme der Magnetisierung bemerkbar machte, sich vielmehr ein Hin- und Herschwanken zeigte, alterte ich von da ab bei 209° (in siedendem Nitrobenzol) weiter. Nach bereits 2 Stunden Alterung hatte die Sättigungsmagnetisierung um 30% abgenommen, nach weiteren 3 Stunden war sie bis auf 10% des Anfangswertes herabgesunken. Es war damit ein Fingerzeig gegeben, bei viel tieferer Temperatur zu altern. Für meine Hauptversuche wählte ich dann 110°, die Temperatur des siedenden Toluols, nachdem sich durch Vorversuche herausgestellt hatte, daß eine noch niedrigere Alterungstemperatur von 80° (Probe I 27,5 d, vgl. Tabelle 7 auf S. 45) im Prinzip doch zu denselben Magnetisierungsvorgängen führte.

β) Hauptversuche.

Während die abgeschreckten Aluminium-Manganbronzen vor der Alterung nur schwach magnetisierbar sind und erst durch Alterung einen starken Ferromagnetismus aufweisen, dessen Werte sich schließlich einem stabilen Endzustand nähern, ist das Verhalten der Zinn-Manganbronzen — wenigstens soweit ich sie untersucht habe — ein völlig anderes.

Die gesamten Ergebnisse sind in den Tabellen 5 bis 15 auf S. 43—53 enthalten. Die Alterungserscheinungen wurden an 11 Proben untersucht. Bei jeder Messung berechnete ich die Magnetisierungswerte der jungfräulichen Kurven für die Feldstärken 7,5, 10, 20, 40, 60, 75, 100, 150, 200, 250, 300, 445, 600, 775

und 1000 Gauß. Die für diese Feldstärken gefundenen Magnetisierungswerte trug ich dann in großem Maßstabe in Millimeterpapier ein (Größe der Bogen: Breite 1,15 m, Höhe 0,75 bis 1,50 m). Für Feldstärken bis 100 Gauß benutzte ich noch größeren Maßstab. Mit Hilfe von biegsamen Latten (sog. Wasserlinienlatten) wurden dann die Punkte zu einer stetigen Kurve verbunden. Der Entmagnetisierungsfaktor wurde nach den Daten von R. Mann (vergl. S. 26) graphisch berücksichtigt. Aus den so gefundenen Kurven entnahm ich die Magnetisierungswerte für die Feldstärken 2,5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 50, 75, 100, 125, 150, 200, 250, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900 und 1000 Gauß. Diese Magnetisierungswerte sind in den Tabellen 5 bis 15 auf S. 43—53 eingetragen.

Ein übersichtliches Bild über die Alterungsverhältnisse bekommt man aber erst, wenn man obige Magnetisierungswerte gleicher Feldstärke als Funktion der Alterungsdauer zu einer Kurve verbindet. Dies ist für verschiedene Proben in den Kurven am Schluß dieser Arbeit geschehen (Fig. 8—15). Aus diesen und aus den Tabellen 5 bis 15 geht dann deutlich hervor, wie oben bereits erwähnt wurde, daß sämtliche untersuchten Legierungen im Gegensatz zu den Aluminium-Manganbronzen nach einer Alterung von 1500 Stunden einen geringeren Sättigungswert der Magnetisierung zeigen als im Anfangszustand. Ferner lassen die Tabellen erkennen, daß nach 1500 Stunden der stabile Endzustand wirklich erreicht ist.

Die Kurven S. 67—73 haben ein ganz anderes Gepräge wie diejenigen, welche Take bei den Aluminium-Manganbronzen fand. Besonders auffallend ist auch, daß manche Legierungen direkt nach Beginn der Alterung zunächst eine starke Abnahme ihrer gesamten Magnetisierungswerte zeigen und erst weiterhin ihre Magnetisierung wieder verstärken. Diese Erscheinung wurde bisher bei den Aluminium-Manganbronzen auch nicht beobachtet. Im übrigen sind bei den meisten Proben zwei deutlich ausgeprägte Maxima vorhanden, deren Lage bei den einzelnen Legierungen eine ganz verschiedene ist; jedoch tritt nach 500 Stunden kein Maximum mehr auf. Etwas heraus fällt hierbei Probe I 50b. Doch sei nochmals darauf hingewiesen, daß diese Probe wegen der großen Sprödigkeit nicht bearbeitet wurde, außerdem war an einem

Ende ein kleiner Gußfehler. Der Durchmesser wurde aus Volumen und Länge berechnet.

Eine Erklärung für diese Alterungserscheinungen zu geben, ist vor der Hand unmöglich. Sicherlich läßt sich soviel sagen, daß beim Altern mehrere Konstitutionsänderungen stattfinden. Die Alterungserscheinungen sind offenbar wesentlich komplizierter, als man bisher angenommen hatte.

c) Die maximale Koerzitivkraft.

Wie bereits erwähnt, hat Take[1]) bei seinen Untersuchungen an den Aluminium-Manganbronzen zwei Umlagerungen konstatiert. Durch die erste werden die ferromagnetischen Elementarmagnete ausgebildet, während die zweite von Take gefundene Strukturumlagerung (Polymerisation) eine Abnahme der freien Richtbarkeit der Elementarmagnete zur Folge hat. Take zeigte, daß die maximale Koerzitivkraft gewissermaßen ein umgekehrtes Maß für die „freie Richtbarkeit" der Elementarmagnete sei.

Es war also von Bedeutung, auch bei den Zinn-Manganbronzen die maximale Koerzitivkraft aus Aufnahmen der Hysteresekurven (Grenzzykel zwischen + 1000 Gauß) in ihrem Alterungsverlauf zu untersuchen.

Die Ergebnisse sind mit in den Tabellen 5—15, S. 43—53, enthalten. Für 4 Proben habe ich die maximale Koerzitivkraft als Funktion der Alterungsdauer auch graphisch dargestellt (Fig. 16, S. 74). Im wesentlichen stimmen danach diese Ergebnisse mit den von Take bei den Aluminium-Manganbronzen gefundenen überein.

Bei diesen zeigte sich nämlich, daß für Alterungstemperaturen unter 260° (obere Grenze der stabilen, endgiltigen Umwandlungspunkte abgeschreckter Proben) mit wachsender Alterungsdauer ein Zunehmen der maximalen Koerzitivkraft und bei hinreichend langer Alterung ein Annähern an einen konstanten oberen Grenzwert stattfand. Wenn jedoch oberhalb 260° gealtert wurde, erreichte die maximale Koerzitivkraft nach gewisser Alterungsdauer ein Maximum, um dann wieder stark zu fallen und einem konstanten Endwert zuzustreben. Dies erklärt sich

1) E. Take, a. a. O.

aus den beiden Strukturumlagerungen und den damit bedingten Komplexbildungen.

Betrachtet man nun die Kurven der maximalen Koerzitivkraft, wie ich sie bei den Zinn-Manganbronzen gefunden habe, so trifft man die beiden erwähnten typischen Formen wieder. Jedoch halte ich diejenige Kurvenform für die normale, bei der die Koerzitivkraft zuerst schnell ansteigt und sich mit zunehmender Alterungsdauer einer konstanten oberen Grenze nähert. Die andere Kurvenform glaube ich analog den Takeschen Messungen an Aluminium-Manganbronzen bei mittleren Feldern daraus erklären zu können, daß für die betreffenden Legierungen bei einem Feld von 1000 Gauß die Magnetisierung ihre Sättigung noch nicht erreicht hat. DiesVerhalten zeigen die meisten der von mir untersuchten Zinn-Manganbronzen in mehr oder weniger starkem Maße. Am deutlichsten ist dies bei Guß II 20b ausgeprägt. Das kann man aus Tabelle 12, S. 50 u. Fig. 16, S. 74 erkennen. Dieser Guß weist auch einen enorm hohen Wert der Koerzitivkraft auf, im Maximum steigt er bis auf 192 Gauß, während bei den Aluminium-Manganbronzen von Take als höchster Wert 172 Gauß festgestellt wurde und unsere besten Magnetstahle im Maximum eine Koerzitivkraft von nur 80 Gauß aufweisen.

d) Vergleichsalterung bei 80°.

Zum Vergleich alterte ich eine Probe (I 27,5 d) in siedendem Benzol (80°), um zu sehen, ob etwa eine niedrigere Alterungstemperatur eine stete Zunahme der Sättigungs-Magnetisierung zur Folge hätte. Jedoch, wie Tabelle 7, S. 45, zeigt, nimmt auch hier für größere Alterungsdauer die Sättigungsmagnetisierung ab. Da bei dieser verhältnismäßig niedrigen Alterungstemperatur die Umlagerungen nur sehr langsam vor sich gehen, mußte die Alterung bis auf mehrere Tausend Stunden ausgedehnt werden.

e) Versuche mit langsamem Abkühlen in Äther-Kohlensäure.

Da ich beim Erhitzen der Zinn-Manganbronzen auf 110° bew. 80° keine schließliche Zunahme der Sättigungs-Magnetisierung, im Gegenteil Abnahme fand, so war es vielleicht

möglich, daß durch langsames Abkühlen eine stärkere Magnetisierbarkeit sich ausbilden könne. Bei den Aluminium-Manganbronzen sind solche Versuche angestellt worden von Take[1]) und Preußer[2]). Ersterer fand bei den meisten Versuchen keine wesentliche Änderung der Magnetisierbarkeit. Doch ergaben sich für einige Proben auch nach Wiedererwärmen auf Zimmertemperatur Zunahmen der Magnetisierungswerte bis auf 72,5%. Auch Preußer stellte bei zwei Güssen Zunahme der Magnetisierbarkeit fest, die auch bestehen blieb, wenn die Proben sich wieder auf Zimmertemperatur erwärmt hatten.

Ich kühlte die Güsse I 30d und II 30d langsam in Äther-Kohlensäure ab und beobachtete die Änderungen der Ausschläge, welche die Proben am Magnetoskop hervorriefen. Bei beiden Güssen wurde in der Kälte der Ausschlag etwas größer, erreichte aber bei Zimmertemperatur ungefähr den ursprünglichen Wert wieder.

Auch Roß und Gray kühlten ihre Zinn-Manganbronzen ab und zwar bis auf — 190° und stellten nur bei einigen Proben geringe Zunahmen der Magnetisierung fest.

G. Zusammenfassung der Ergebnisse.

1. Außer dem von Haupt gefundenen Maximum der Sättigungs-Magnetisierung existiert bei den Zinn-Manganbronzen noch ein zweites stärkeres bei den Legierungen mit der Zusammensetzung $[Sn\ Mn_3]_x$.

Heuslers Theorie ist somit experimentell bestätigt.

2. Der magnetische Umwandlungspunkt ist bei den Zinn-Manganbronzen durch Alterung bzw. durch Abschreckung nicht in den weiten Grenzen veränderlich wie bei den Aluminium-Manganbronzen.

3. Die Alterung der Zinn-Manganbronzen bei 110° bzw. 80° hat keine stetige Zunahme der Sättigungs-Magnetisierung zur Folge. Die Kurven, welche die Abhängigkeit der Magnetisierung von der Alterungsdauer bei den verschiedenen Feldstärken darstellen, haben zudem bei den meisten untersuchten

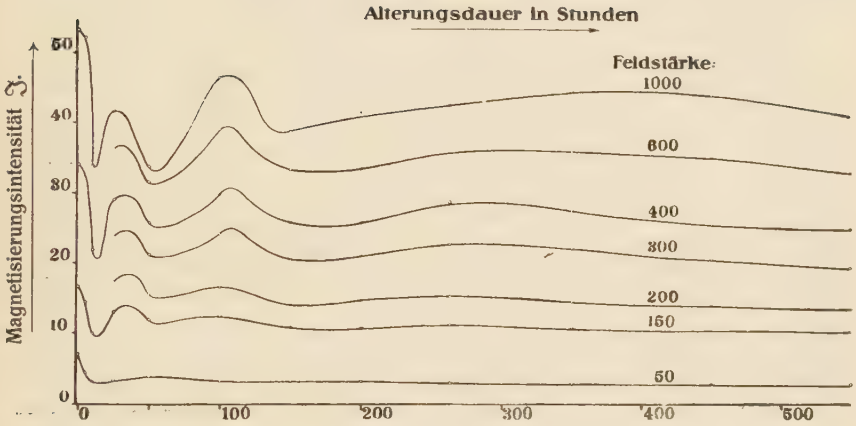
1) E. Take, Annalen d. Physik (4) **20**, S. 887 ff., 1906.
2) W. Preußer, a. a. O. S. 59 ff.

Proben zwei deutlich ausgeprägte Maxima ergeben. Eine Erklärung für diese Alterungserscheinungen zu geben, ist noch nicht möglich. Sicherlich läßt sich aber soviel feststellen, daß mehrere Konstitutionsänderungen stattfinden.

4. Bei den Kurven der maximalen Koerzitivkraft (Grenzzykel der Hystereseschleife zwischen ± 1000 Gauß) finden sich die beiden typischen Formen wieder, die Take bei den Aluminium-Manganbronzen konstatiert hat.

5. Durch langsames Abkühlen in Äther-Kohlensäure findet keine dauernde Zunahme der Magnetisierbarkeit statt.

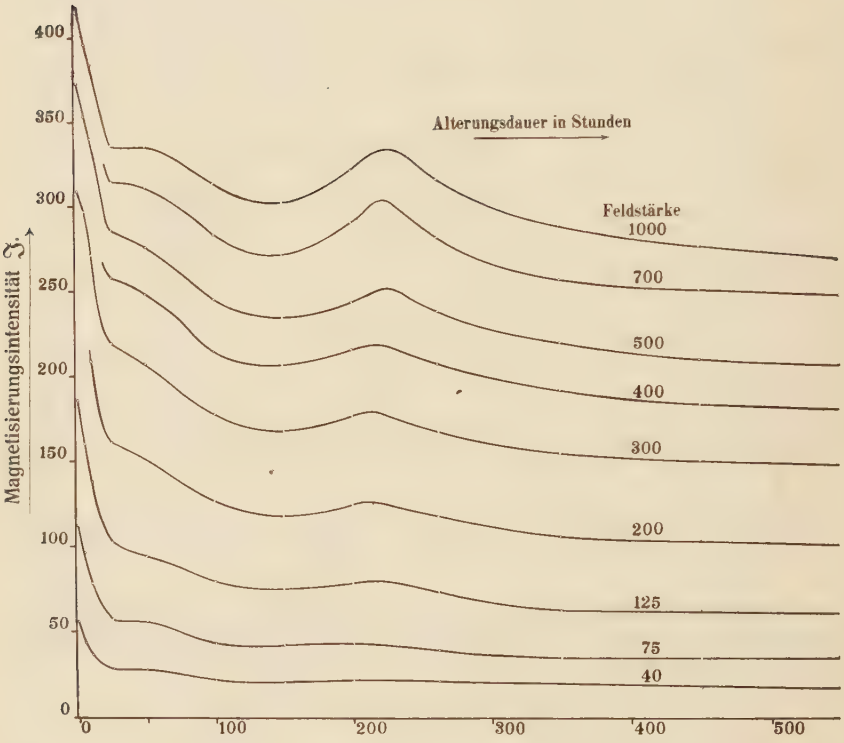
Fig. 8



Die Magnetisierungsänderungen der Zinn-Manganbronze I 20 b als Funktion der Alterungsdauer (Stunden). Alterungstemperatur 110°. Ursprünglicher magnetischer Umwandlungspunkt 264°. Parameter: effektive Feldstärke.

(Vgl. Tabelle 5 auf S. 43).

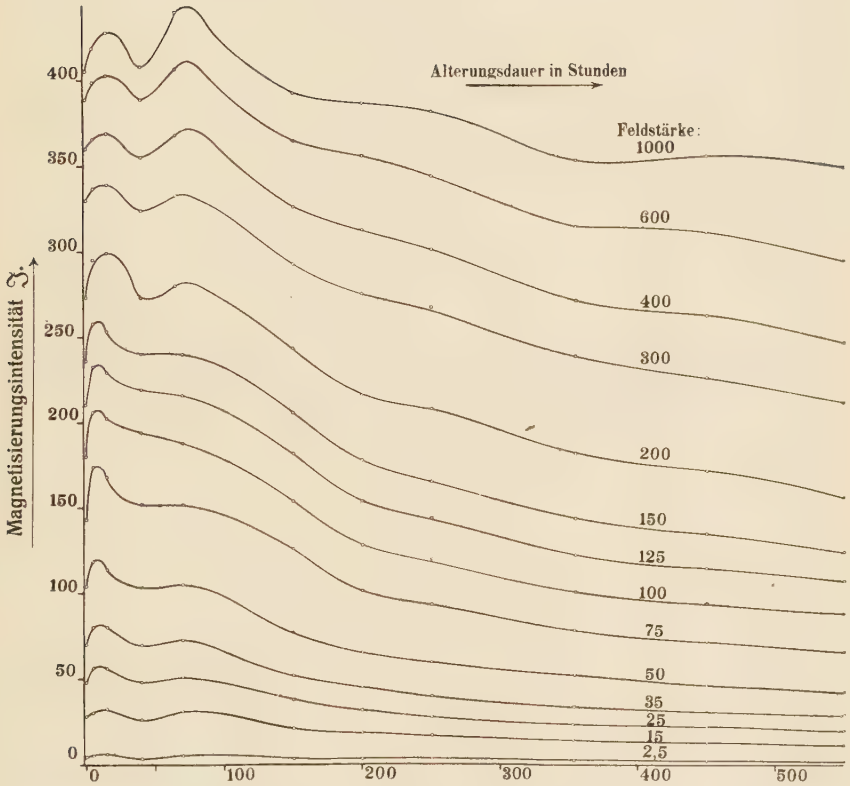
Fig. 9



Die Magnetisierungsänderungen der Zinn-Manganbronze I 27,5 c als Funktion der Alterungsdauer (Stunden). Alterungstemperatur 110°. Ursprünglicher magnetischer Umwandlungspunkt 275°. Parameter: effektive Feldstärke.

(Vgl. Tabelle 6 auf S. 44).

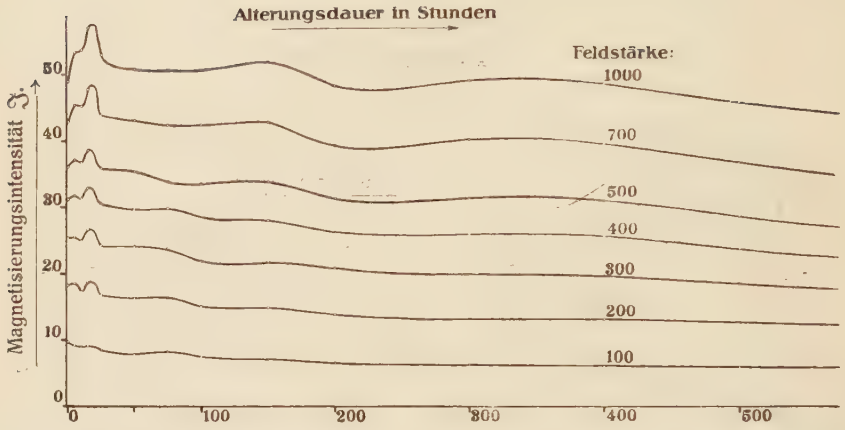
Fig. 10



Die Magnetisierungsänderungen der Zinn-Manganbronze I 30 c als Funktion der Alterungsdauer (Stunden). Alterungstemperatur 110°. Ursprünglicher magnetischer Umwandlungspunkt 264°. Parameter: effektive Feldstärke.

(Vgl. Tabelle 8 auf S. 44).

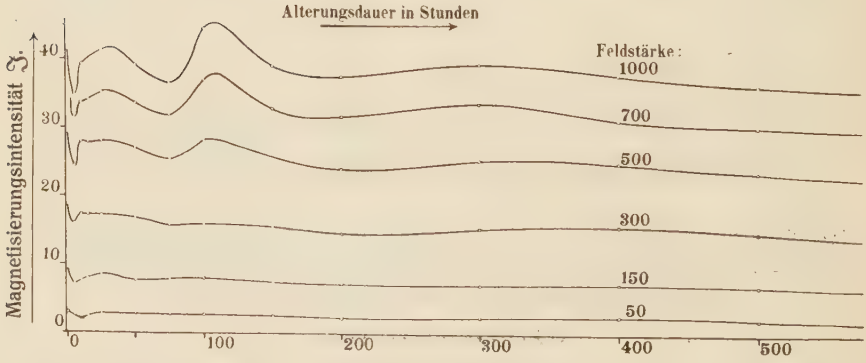
Fig. 11



Die Magnetisierungsänderungen der Zinn-Manganbronze I 35 b als Funktion der Alterungsdauer (Stunden). Alterungstemperatur 110°. Ursprünglicher magnetischer Umwandlungspunkt 284°. Parameter: effektive Feldstärke.

(Vgl. Tabelle 9 auf S. 47).

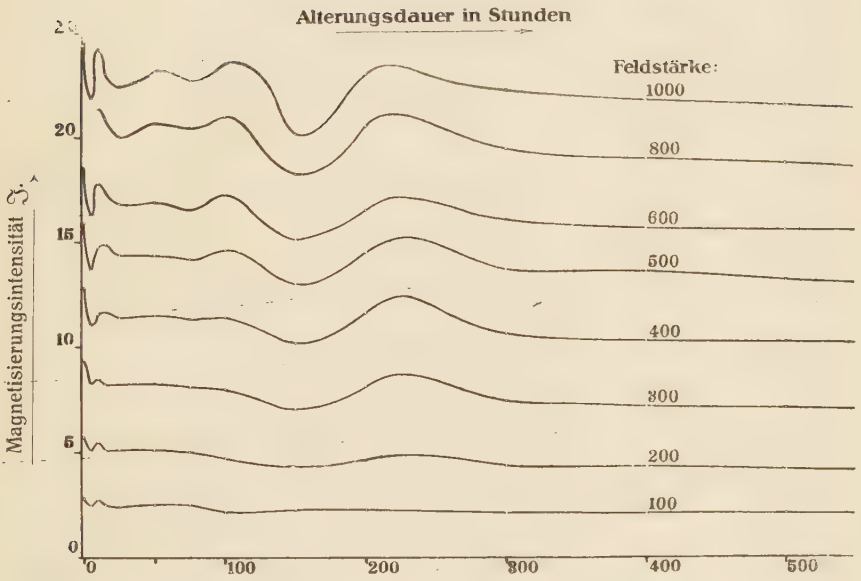
Fig. 12



Die Magnetisierungsänderungen der Zinn-Manganbronze I 40 c als Funktion der Alterungsdauer (Stunden). Alterungstemperatur 110°. Ursprünglicher magnetischer Umwandlungspunkt 262°. Parameter: effektive Feldstärke.

(Vgl. Tabelle 10 auf S. 48).

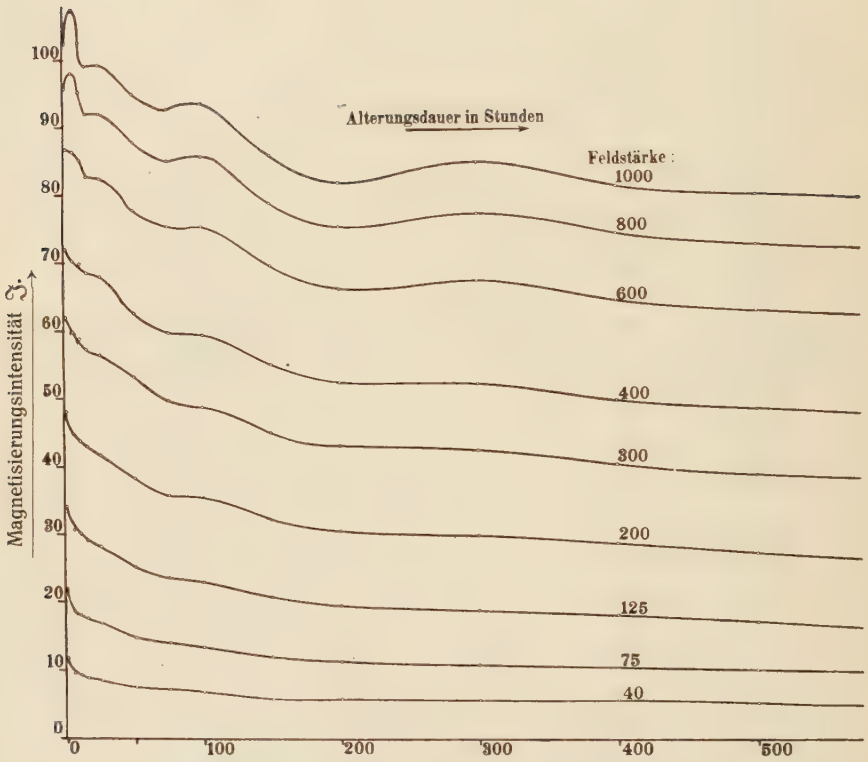
Fig. 13



Die Magnetisierungsänderungen der Zinn-Manganbronze II 20 b als Funktion der Alterungsdauer (Stunden). Alterungstemperatur 110°. Ursprünglicher magnetischer Umwandlungspunkt 258°. Parameter: effektive Feldstärke.

(Vgl. Tabelle 12 auf S. 50).

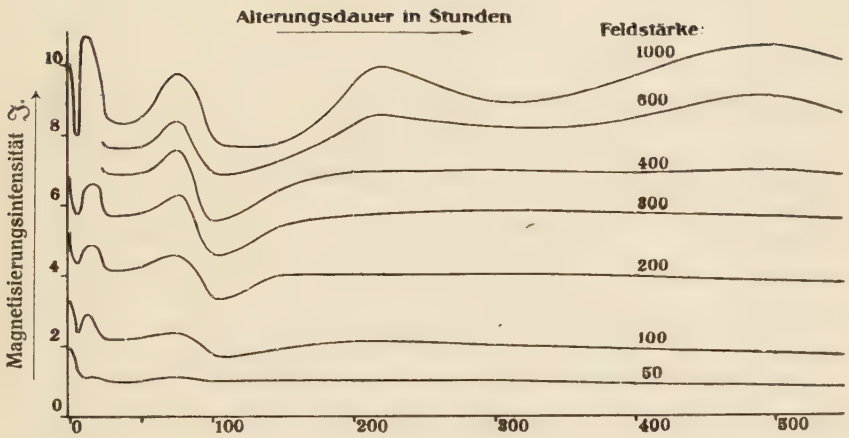
Fig. 14



Die Magnetisierungsänderungen der Zinn-Manganbronze II 30 b als Funktion der Alterungsdauer (Stunden). Alterungstemperatur 110°. Ursprünglicher magnetischer Umwandlungspunkt 265°. Parameter: effektive Feldstärke.

(Vgl. Tabelle 13 auf S. 51).

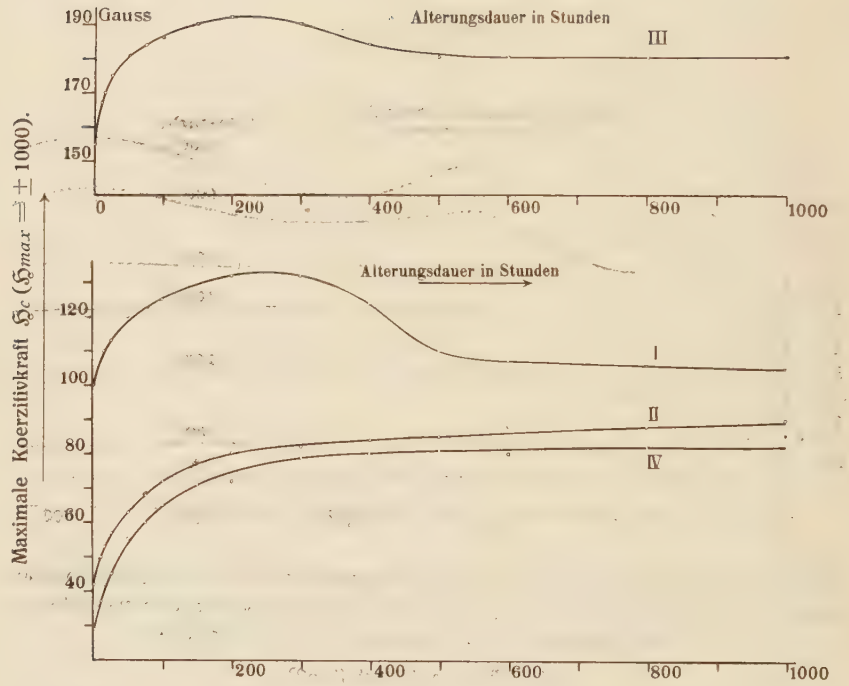
Fig. 15



Die Magnetisierungsänderungen der Zinn-Manganbronze II 40 b als Funktion der Alterungsdauer (Stunden). Alterungstemperatur 110°. Ursprünglicher magnetischer Umwandlungspunkt 242°. Parameter: effektive Feldstärke.

(Vgl. Tabelle 14 auf S. 52).

Fig. 16



Die maximale Koerzitivkraft ($\mathfrak{H}_{max} = \pm 1000$) als Funktion der Alterungsdauer (Stunden) bei den Zinn-Manganbronzen I 20 b (Kurve I), I 35 b (Kurve II), II 20 b (Kurve III) und II 30 b (Kurve IV). Alterungstemperatur 110°.

Vorliegende Arbeit wurde im Physikalischen Institut der Universität Marburg angefertigt. Es sei mir an dieser Stelle gestattet, meinem hochverehrten Lehrer

Herrn Professor Dr. F. Richarz

meinen wärmsten Dank auszusprechen für das mir stets bewiesene fördernde Interesse, sowie für das bereitwillige Entgegenkommen, mit dem mir die für die vorliegende Arbeit notwendigen Instrumente und Materialien bewilligt wurden.

Ebenso bin ich

Herrn Privatdozent Dr. E. Take

zu herzlichstem Danke für die dauernde liebenswürdige Unterstützung bei Anfertigung dieser Arbeit verpflichtet.

Lebenslauf.

Geboren wurde ich, Alfred Semm, am 22. März 1891 in Sondershausen als Sohn des Seminaroberlehrers Hermann Semm. Ich bin evangelischen Bekenntnisses und preußischer Staatsangehöriger. Ostern 1897 trat ich in die Seminarschule zu Sondershausen ein, besuchte von Ostern 1900 ab das Gymnasium daselbst, das ich Ostern 1909 mit dem Zeugnis der Reife verließ, um Naturwissenschaften und Mathematik zu studieren. Während der ersten drei Semester war ich in Heidelberg immatrikuliert, im Winter 1910/11 an der Universität Berlin. Von Ostern 1911 ab studierte ich in Marburg. Das Examen rigorosum bestand ich am 8. Juli 1914. Während des Sommersemesters 1914 war ich als Privatassistent im Physikalischen Institut der Universität Marburg tätig. In der folgenden Zeit bereitete ich mich zum Staatsexamen vor. Am 3. November wurde ich zur Fahne einberufen.

Meine akademischen Lehrer, denen ich zu großem Danke verpflichtet bin, waren in Heidelberg: Becker, Cantor, Curtius, Ebler, Koehler, Koenigsberger, Lenard, Wolf; in Berlin: Frobenius, Nernst, Planck, Riehl; in Marburg: Andrée, Bauer, Feußner, Hensel, Kayser, Misch, Natorp, Neumann, Richarz, Schenk, Schulze, Take, Zincke.